

الطبعة الاولى (يناير) ١٩٦٢
الطبعة الثانية (ابريل) ١٩٦٦
الطبعة الثالثة (ابريل) ١٩٨٠
بيروت

مقدمة

أذكر انني قرأت قبل سنوات مقالة عن عشرة اشخاص بلبلوا العقل البشري واضاعوا استقراره بآرائهم ومكتشفاتهم ! وكان آينشتاين أحدهم . وقد راقت لي طرافة المقالة ، حتى غدوت في كل مرة أطالع فيها بحثاً عن آينشتاين أو ذكراً له ، أتساءل عن مدى الصحة في ذلك القول ، خاصة في زمن تهدد الاسلحة الذرية فيه البشرية بالدمار والفناء — وقد كان لنظريات آينشتاين عن العلاقة بين الطاقة والكتلة فضل كبير في انتاج تلك الاسلحة .

لكني كنت دوماً أجد أن هذا التساؤل لم يكن منبعثاً عن الفكر ومنطقه وإنما عن العاطفة وانفعالاتها ... وانه أشبه بشعور الضائع في الصحراء ، الذي يتمنى لو لم توجد تلك الشمس اللاهبة التي تشوي جسده وتسيله عرقاً . ومع أن الشمس قد تكون المسؤولة عن هلاك ذلك الضائع والمئات من أمثاله ، لكنها هي التي تهب الحياة والنور لكل البشر والأحياء على مر القرون .

أما الضياع فلا يقتصر على الافراد الهائمين على وجوههم في الصحراء . فآينشتاين قد عانى من الضياع كما عانى سواه ... لقد تمزقت نفسه بين الريف حيث ولد ومضى صباه في طبيعته الشاعرية ، والمدينة التي شهدت

شبابه وضايقته بصخبها ومشاكلها .. وتحرر عقله بين تربيته الدينية التي
نشأ عليها ، سواء كانت طقوساً اسرائيلية في بيته أو تعاليم كاثوليكية في
المدرسة ، والتمرد الفكري على التزمت والجمود طوال حياته .. واضطربت
كينونته بين تجاربه كيهودي مضطهد منطوٍ على نفسه ، ورغبته في تحقيق
الانسجام مع مجتمعه بتقاليده ومثله ومتطلباته . وما كان لذلك التمزق
والحيرة والاضطراب إلا ان يولد في نفس آينشتاين آلاماً .. فيحاول نسيانها
في سمفونية موسيقية يهيم في أجوائها ، أو يدفنها في نكتة ساخرة يداعب
بها دنياه .

والآلام عنصر أساسي في حياة كل انسان .. لكنها عند افراد معدودين
تغدو طاقات خلاقة لكل منها طابعها الخاص .. وتمضي القرون وآثار
هؤلاء الافراد على غيرهم وربما على البشرية كلها لاتزول .

وكان آينشتاين عبقرياً حين حوّل شعوره بالضياع النفسي إلى رغبة في
البحث عن الحقيقة ، وحين أبى أن يذيب توتره الفكري في مشاغل الحياة
وإنما جعله قوة دافعة لا تتوقف ما دام قلبه ينبض . وكان طبيعياً أن
يبحث عن الحقيقة في المجالات التي هيأته لها ظروفه .. في خلوة عقلية
مع الرياضيات يدرس قوانينها ويرتاد آفاقها ، فقد أدرك ان الرياضيات
أقرب من أي شيء آخر إلى الحقيقة الأزلية ؛ وكذلك في شطحة روحية
مع الكون يتعرف إلى ظواهره ويسبر أسراره ، فقد اكتسب من تثقيفه
الديني ودراساته الفلسفية ايماناً عميقاً بوحدة الوجود ، وان كل ما هو
موجود جزء من ذلك الكل الأوحد ويخضع لطقوسه كافة ، فلا يمكن
تجريد شيء أو ظاهرة عن سائر الاشياء والظواهر ، وإنما يجب اعتبار أي
منها بالنسبة إلى غيره .

واستطاع آينشتاين أن يصوغ فلسفته الرياضية ونظرياته في النسبية العامة
والخاصة بقوانينها ومعادلاتها ، ليقرر أن لا وجود للزمان المطلق والمكان
المطلق ، وإنما هما نسبيان . وما الوجود كله وما فيه سوى متصل مكاني

زماني ذي أربعة أبعاد ، على أساس أن الزمان هو البعد الرابع بالاضافة
إلى الابعاد المكانية الثلاثة المعروفة . كما انه وحّد الكتلة والطاقة ، وجعل
العلاقة الوثيقة بينهما على شكل معادلة رياضية بسيطة . ثم مضى قدماً
في سعيه لتوحيد كل أشكال الطاقة المعروفة وربطها بقوانين أساسية يمكن
اعتبارها نواميس كونية تقوم عليها هندسة الكون كله ، من الكهارب في
الذرات إلى النجوم في المجرات .

ونظريات آينشتاين ليست عمليات رياضية وحسابات معقدة من الأرقام
والرموز الجامدة — وان يكن هذا الجزء منها وحده كاف لجعل آينشتاين
جديراً بتقديراتنا واعجابنا ، لما كان له من فضل في تمكيننا من استغلال
الطاقة الذرية . لكن نظريات آينشتاين أعظم من ذلك ، لأنها محاولة
لتفسير ظواهر الكون على أساس ترابط المادة والطاقة والمكان والزمان في قالب
منطقي عماده وحدة الوجود ونظامه الهندسي .

والأهمية القصوى لهذه المحاولة هي أثرها في تطوير نظرة الانسان إلى
الوجود وإلى دوره فيه . فمنذ وجد الانسان على هذه الكرة الأرضية ،
وهو يتصور نفسه محور الوجود وشغله الشاغل .. فهو سيد الأرض ،
والأرض مركز الكون ان لم تكن الكون كله ، وما وجدت الشمس إلا
لتنيرها وما وجدت النجوم الا لتزين سقفها ، وكل شيء أو ظاهرة ما
وجدت إلا لأمر متصل بالانسان . فمن حق هذا الانسان ، بصفته سيد
الكون ، أن يفرض منطقه وقوانينه عليه وان يتصور حتى الآلهة على
شاكلته !

ولما أثبت كوبرنيكس أن الأرض مجرد تابعة للشمس تدور حولها ، ولما
تقدم علم الفلك معطياً صورة بسيطة عن مدى اتساع الكون وأن مثل
أرضنا فيه كمثل حبة قمح في حقل مليء بالسنابل ، تضاءلت مكانة
الانسان في هذا الكون ، وأصبح أحقر من أن يتصور نفسه سيداً له ،
أو حتى شيئاً ذا قيمة في وجود تسوده الفوضى — خاصة بعد ان اضمحلت

الفكرة التقليدية عن اله على صورة البشر . واضحى الأمر كله عبثاً مخيفاً ...

وجاء آينشتاين بقوانينه لينفي العبثية عن الكون ، وليثبت ان الظواهر الكونية كلها تخضع لقوانين رياضية ثابتة ، هي أشبه بالنواميس الالهية تتحكم في الكون الذي غدا وجوداً هندسياً بديعاً ، ومحل العبثية والفوضى حلت القوانين الرياضية والنظام . وبهذا استطاع الانسان أن يسترد ثقته بنفسه ، لا على انه محور الكون ومركز الوجود ، وانما على أساس انه — على صغره وضآلة عالمه — جزء مبدع من هذا الكون ، وهو لذلك قادر على كشف أسراره واداء أمجد دور فيه . وهكذا ندرك وحدة الوجود كله ، كما ندرك مكانتنا اللائق بنا ، والذي نستطيع ان نطوره كما نشاء على مسرح الوجود . وبهذا تمتزج الفلسفة بالعلم خير امتزاج ، فتنسجم العقليات التي ندركها مع الميتافيزيقيات التي نتخيلها ، ويزول إلى الأبد الانفصام المرعب بين عقل الانسان المحدود وروحه المنطلقة عبر كل الحدود . ويغدو الوجود كله سمفونية رائعة ، لا يكفي أن يتصورها متصوف في خلوته ، أو يراها عالم في ابحاثه ، وإنما يشترك فيها البشر جميعاً ، بعقولهم وأرواحهم وسواعدهم . ويكفي آينشتاين عبقرية أن يبين لنا كيف نستعمل عقولنا في التعرف إلى الكون وجميع ظواهره ، سواء في نفوسنا أو عالمنا أو الكون المحيط بنا ، ثم تفسير هذه الظواهر والتوصل إلى قوانينها ، ومن بعد ذلك تطبيقها والتحكم فيها لخير البشر والنظام الكوني .

والكلام عن عبقرية آينشتاين لا يكمل إلا ببضع كلمات عن انسانيته . فهذا الرجل الذي أدرك وحدة الوجود كما لم يدركها أحد قبله ، قد آمن بوحدة المجتمع البشري أصدق ايمان ، فلم يسمح للتعصب القومي أو الطائفي ان يذيب فرديته المبدعة أو يقيد حريته الفكرية أو على الاقل يخفف حماسه لحق كل انسان في ان يكون حراً . فلا الاقطار التي أقام فيها ، ولا الديانة التي ولد عليها ، بل ولا الأهل والاصحاب الذين

شاركوه أحداث حياته ، استطاعوا أن يحتكروا ولاءه أو يجعلوا اتجاهه البيئي اليهم انحيازاً كلياً لهم . حتى اغراء الصهيونيين له بأن يكون رئيساً لدولتهم لم يكن جوابه عليه سوى الرفض والاستنكار . ومات آينشتاين كما عاش ، غير منتمٍ الا إلى المجتمع البشري الواحد ، ومنتسباً إلى الكون كله .

* * *

كم أود لو استطعت ان أكون راضياً عن نفسي بهذه المقدمة .. فما اظن انني استطعت ان أرتفع بها إلى مستوى كتاب الدكتور عبد الرحيم بدر ، في فكرته العميقة واسلوبه الساحر . وكل قارئ لهذا الكتاب سيشعر كما شعرت ، ان الدكتور بدر قادر على جعله في دقائق معدودات صاحبه الاثير لديه ، حتى لو فرقتهما مئات الأميال . وان هي إلا صفحات حتى تقوى أواصر هذه الصحبة فتزول منها الكلفة ، وإذ بالمؤلف والقارئ صديقان حميمان يتبادلان الأسرار ويتباثان المشاكل والهموم ، حتى مشاكل النسبية وهموم الكون تخففها تلك المشاركة الوجدانية وتجعلها قصصاً مسلية . وما ينتهي القارئ من الكتاب إلا ويجد أن الكلفة لم يعد لها وجود حتى بينه وبين آينشتاين ، ويخيل اليه انه يضع يده بيديه ليسيرا رفيقين متفاهمين على درب النسبية عبر هذا الكتاب الذي يتحدث عن أربعة ابعاد ، لكنه يتخطى كل الابعاد ليحقق التفاهم والانسجام بين القارئ والمؤلف وآينشتاين .

نابلس ٢٣-٩-١٩٦١

الدكتور وليد قمحاوي

النظرية الغريبة

لست أعلم – فيما أعلم – عن رجل دوّى العالم بشهرته العلمية أثناء حياته وصار يضرب به المثل في العبقرية كأينشتاين . فمن المعروف عادة ان عباقرة العلم والأدب والفن – أو على الأصح الكثير منهم – يعيشون حياة نضال وكفاح مربرين ، ويكونون مغمورين ، ومنهم من لا يعلم بقيمته أحد أثناء حياته . فقد انتحر الرسام فان جوخ **Van Gogh** يأساً في ربيع حياته . ومندل صاحب قانون الوراثة لم يعرف أحد أنه مكتشف هذا القانون حتّى بعد حوالى نصف قرن من وفاته . والطبيب العربي ابن نفيس الذي اكتشف الدورة الدموية في جسم الانسان لا يزال مجهولاً حتى الآن، ولا يزال الطب يعزو هذا الاكتشاف إلى هارفي **Harvey** . وأمثلة ذلك كثيرة لا حصر لها .

غير ان آينشتاين عاش عبقرياً أجمع علماء عصره على عبقريته ، وبلغ اسمى مراتب المجد العلمي ، وتبارى كبار العلماء في الدفاع عن نظريته وتفسيرها والردّ على النفر القليل الذين حاولوا أن يغمزوا فيها أو أن يضعوها في موضع الشك . كل هذا كان يحدث أمام عينيه منذ أن نشر النظرية حتى مات .

كلّ هذا ليس غريباً حتى الآن ، لأننا نعرف أيضاً كثيراً من العباقرة

والعظماء يبلغون مراتب عالية نتيجة مجهودهم الفكري أو الفني ، كأديسون وبيكاسو وابن سينا والمتنبي ، فيجدون من المجتمع تقديراً لهم لما قدموه له . لكن المجتمع عندما كان يقدر هؤلاء كان يدرك مباشرة قيمة ما يقدمون ، وكان يتأخر في ادراك ما قدمه المغمورون منهم ، أي أنه أولاً وآخراً كان يدرك بعض الادراك أو كلّه نوع المجهود الذي قدّم اليه إن عاجلاً أو آجلاً . فعندما يصف المجتمع اديسون بالعبقرية يفعل ذلك لأنه يرى الاختراعات العديدة التي قدمها له ، والنور الكهربائي الذي يقرأ عليه القارئ الآن هو أحدها . وكذلك بيكاسو الرسام الشهير ، فهو يجد اقبالاً من المجتمع على شراء لوحاته ، ويرى لها صوراً بين الحين والآخر في الكتب والمجلاّت ، فيعجب بها البعض فيرفعونه إلى درجة العبقرية ولا تعجب البعض الآخر فيشاغبون عليه ، أي أنهم يجدون شيئاً من انتاجه يفهمونه بشكل من الاشكال ويصدرون أحكامهم عليه . وابن سينا الطبيب ألّف كتاب « القانون في الطب » الذي كان يدرّس في جامعات أوروبا حتى ما قبل قرنين من الزمن . والمتنبي نقرأ قصائده ونناقشها ونجد من يعجب به ويحبه ويضعه في مصاف العباقرة ، ونجد من يحمل عليه وينتقده . أي اننا نجد شيئاً من انتاج هؤلاء نستطيع أن ندرك بعضه أو كلّه ، ونحكم عليه الحكم الذي يروق لنا . وقد يختلف حكم إنسان عن الآخر – وهذا ما يحدث دائماً – فتثور المجادلات والمناظرات حول اختلاف وجهات النظر هذه .

غير ان آينشتاين ليس كهؤلاء . فعبقريته أمر مفروغ منه ، ولكن عن ماذا تتحدث هذه العبقرية ؟ وما هو الذي قدّمه آينشتاين ؟ وما قيمة هذا الذي قدّمه ؟ وفي أيّ موضوع يتكلم ؟ قلّ من يدري . كلّ ما هو معروف عنه أنه واضع النظرية النسبية ، وأن العلماء الكبار يقولون إنه عبقريّ . وقد توجد بعض الكتب أو المقالات التي تتحدث في هذه النظرية ، لكن ما يكاد المرء يبدأ بالقراءة فيها حتى يجد نفسه

في بحر من الألغاز لا قرارة له ، فيمسك عن القراءة إلاّ من أوتي من الجلد والصبر والعلم ما يمكنه من المتابعة .

يذكرني هذا بطرفة قرأتها في إحدى الجرائد (والطرف كثيرة حول امثال آينشتاين) ؛ خلاصتها أنه كان يقف في هوليود في احد الشوارع مع شارلي تشابلن فتجمع حولهما بعض المارّة ، فقال آينشتاين لتشابلن : « لقد تجمع الناس لينظروا إلى عبقري يفهمونه تمام الفهم وهو أنت ، وعبقري لا يفهمون من أمره شيئاً وهو أنا » ، والطرفة إن لم تكن حقيقة فهي تعبر عن الحقيقة .

إذن ، فما هي هذه النظرية النسبية التي ملأت العالم وشغلت الناس ؟

سنحاول في هذا الكتاب أن نسير فيها خطوة خطوة ، فلعلنا نصل إلى استيعاب فكرة عنها .

إنها نظرية فيزيائية (طبيعية) تبحث في مواضيع من التي تبحثها الفيزياء العادية ، كالزمان والمكان والسرعة والكتلة والجاذبية والتسارع ، ولكنها تنظر إلى هذه الأمور بوجهة نظر أخرى .

إذا كنت أيها القارئ قد درست شيئاً ولو بسيطاً جداً من الطبيعيات – أو: تلك التي تدرس في الصفوف الثانوية الدنيا ، فسوف نسير معاً ضمن صفحات هذا الكتاب على أساس من التفاهم المعقول بحيث نستوعب فكرة هي أقرب ما تكون إلى الوضوح من النظرية النسبية . وسوف تدرك خطل رأي من يقولون بأن هناك عشرة في العالم يفهمون هذه النظرية ولا يستطيع أحد أن يفهمها لصعوبتها غير هؤلاء .

وأرجو أن لا تفهم من كلامي هذا انك ستصبح قادراً على حلّ مسائلها المعقدة ومشاكلها العويصة ، فهذه تحتاج إلى بعض الرياضيات العليا ، وهي غير داخلة ضمن المستوى الذي يبحث فيه هذا الكتاب . ولكن هذا كلّه لا يمنع من أن تحمل فكرة واضحة عن النظرية النسبية

وعن الامور الـتي تطرقها والكيفية التي تعالجها بها .

إنك قد درست في المدرسة مثلاً التاريخ والجغرافيا والطبيعيات والرياضيات ، وتعرف الآن المواضيع التي تعالجها هذه الدراسات وباستطاعتك أن تتابع الدراسة في أي موضوع شئت . إنك لا تستطيع ان تدعي بأنك ضليع في جميع هـذه العلوم متبحر فيها ، ولكنك تستطيع أن تقول بأنك تحمل فكرة عنها ، وقد يكون فيها من الوضوح الشيء الكثير ..

وبالمثل ، فإن هدف هذا الكتاب هو أن يجعلك تحمل فكرة عن النظرية النسبية ، نحاول جهدنا أن تكون فكرة واضحة ، فلا تعود تظن أنها من الصعوبة بمكان عظيم بحيث لا يتسنى فهمها إلا لأشخاص موهوبين .

وقد تكون غرابة النظرية النسبية هي التي توحي بأنها صعبة عسيرة الفهم ، والواقع اننا إذا فهمنا الفرضيات التي تقوم عليها النظرية واستوعبناها فإننا سنجد أنها من السهولة على قدر وفير . وسوف نساق في آفاقها الغريبة واجدين فيها من المتعة ما لا يتيسر لنا في مواضيع اخرى علمية كانت أو أدبية .

الابعاد في النظرية النسبية

من مميزات النظرية النسبية أنها تعتقد أن العالم مكوّن من أربعة ابعاد . إذن لنتدرج شيئاً فشيئاً مبتدئين من البعد الواحد .

إن الحيوان الجائع إذا رأى طعاماً على بعد معين منه سار اليه . والبعد هنا هو البعد بين الحيوان والطعام . وأظن — وإن كنت غير واسع الاطلاع على نفسية الحيوان — أنه يدرك بينه وبين نفسه بعد طعامه عنه . واستطيع أن أؤكد هذا على الاقل في الكلب الذي يقفز فاتحاً فمه للقمة

ترمى اليه ، فيلتقطها ببراعة ، وتكون فتحة فمه في اللحظة التي تصل فيها اللقمة اليه . ولا شك انه بارع في تقدير البعد وتقدير سرعة اللقمة . إن براعة كهذه ملحوظة في القطط أيضاً حين تتسابق على قطعة عظم . ولا بدّ للحيوان من استيعاب البعد الواحد للوصول إلى طعامه . وإذا كان الحمار يفعل ذلك فبجهد جهيد . فالحيوانات إذن ، ذات مفاهيم من بعد واحد فقط ، وهي لا تحتاج إلى أكثر من ذلك .

وقد كان الانسان — على ذمة داروين — حيواناً كهذه الحيوانات قبل ملايين السنين . إذن كان يدرك ببعد واحد . ولكن حاجته فيما بعد ، وخاصة عندما ابتدأ يستغل الأرض ، جعلته يحسب المساحات ، أي أصبح يحسب طول الأرض وعرضها . وبذلك أصبحت مفاهيمه ذات بعدين : أحدهما الطول والآخر العرض . والهندسة الاقليدية التي نتعلمها في المدارس حتى الآن والتي تسمى الهندسة المستوية تبحث في السطوح (ولهذا تسمى مستوية) وهي ذات بعدين فقط . فالمثلث وشبه المنحرف والمستطيل والمربع والدائرة لا تحتاج إلى أكثر من بعدين لحساب مساحتها .

ولما احتاج الإنسان إلى البناء أخذ يفكر ويحسب في البعد الثالث الذي هو الارتفاع . ولما تقدم العلم أخذ هذه الأبعاد أسساً في حساباته الهندسية والرياضية ، وأصبح حتى مطلع القرن العشرين يعتبر أن العالم مكون من ابعاد ثلاثة هي الطول والعرض والارتفاع ، وهي كافية لحل كل المسائل التي تعترضه . ولا تزال المسائل على سطح الكرة الارضية تحل بهندسة الابعاد الثلاثة ، وهذه الهندسة كافية لها .

ولا يزال الانسان حتى الآن إذا فكر بطبيعته في حساب حجم أي شيء ملموس أو مرئي فإنه يفكر فيه على أن له أبعاداً ثلاثة ، الطول والعرض والارتفاع (وما اشتق منها طبعاً من خطوط منحرفة أو منحنية في حساب المخروط أو الكرة وما إلى ذلك) . المهم في الأمر ان الانسان

لا يفكر في ابعاد بعد رابع .

ولكن آينشتاين فعل ذلك .

فقال إن الكون الذي نعيش فيه هو ذو أربعة ابعاد لا ثلاثة كما تقول الفيزياء الكلاسيكية . وهذه الابعاد الأربعة هي الطول والعرض والارتفاع والزمن . وإذا قال ذلك كان عليه أن يدخل الزمن في الحسابات الهندسية كعامل رابع مع العوامل الثلاثة الاخرى . وهذا ما فعل .

وتروى عنه طرفة أخرى بهذه المناسبة . كان في حفل يضم جمعاً من السيدات ، فسألته سيدة جميلة قائلة : « بالله عليك قل لي . كيف تستطيع أن تتصور العالم بأربعة أبعاد ؟ أنا لا أستطيع أن أتصوره إلاّ بثلاثة فقط . » فأجابها قائلاً : « أنتِ مخطئة يا سيدتي ، فأنا لا أتصوره الآن إلا ببعد واحد فقط هو الذي يفصل ما بيني وبينكِ . »

إن عالم البعد الواحد بسيط جداً بالنسبة لتفكيرنا ، والطفل الصغير إذا أمسك بالقلم أول ما يمسك فإنه يرسم خطاً ، أي يرسم بعداً واحداً .

وعالم البعدين بسيط أيضاً . ومن السهل تصوره في المخيلة ورسمه على الورق .

أما عالم الأبعاد الثلاثة فهو العالم الذي نعيش فيه ونحن منه ، وهو ما نراه بأعيننا ونلمسه بأيدينا . ومن السهل رسمه على الورق إذا أضفينا على الرسم بعض الظلال للدلالة على البعد الثالث . ومن السهل تخيله أيضاً . ويكثر التخيل عند العاشقين ، والمحبوب الذي لا يملّون التمتع بطيفه هو كائن ذو ثلاثة أبعاد .

أما عالم الأبعاد الأربعة التي تقول النسبية أننا نعيش فيه حقيقة ، فكيف يمكن أن نتصوره ؟ وكيف يمكن أن نرسمه ؟ وكيف نرسم الزمن كبعد رابع في الصورة ؟ وهل يصور الزمن أساساً ما دمنا لا نراه بأعيننا ؟

وإذا كانت النظرية النسبية هي وجهة نظر في هندسة الكون على اعتباره مكوناً من اربعة أبعاد ، كان معنى ذلك أن لها مفاهيم وحسابات خاصة بها . وحساباتها بالطبع سوف تكون أشد تعقيداً من حسابات الفيزياء الكلاسيكية التي ترى أن هندسة الكون من ثلاثة أبعاد . وليس القصد من هذا الكتاب — كما قلنا — هو الخوض في تلك التعقيدات ، إنما القصد هو أن نعطي فكرة عن مفاهيمها وقوانينها الأساسية وسنحاول أن تكون الفكرة واضحة سهلة ، وإذا تمكنا من ذلك دون الابتعاد عن الحقيقة فإننا إذن لناجحون .

لماذا سميت بالنظرية النسبية ؟

لكل علم من العلوم التجريبية مقاييس وعيارات يستند عليها أثناء اجراء التجارب والقيام بالعمليات الحسابية . فالفيزياء والهندسة تتخذان المتر أو اليارد مقياساً للبعد الواحد . وهذا المقياس ، في نظر الفيزيائي والمهندس وفي نظري ونظرك ، يدلّ على بعد معيّن ثابت لا يتغير . وإذا حدث أن تغيّر طول المقياس بارتفاع درجة الحرارة وتمدُّد المادّة التي هو مصنوع منها ، فباستطاعة المهندس أو الفيزيائي أن يحسب مقدار التمدد ويعرف البعد الأصلي الذي يجب أن يدلّ عليه المقياس في درجة الحرارة العادية . أي أن البعد الذي يدلّ عليه المقياس معروف دائماً ، ثابت دائماً . ولم يكن يمرّ في خلد المهندس أو الفيزيائي أن هذا المتر أو اليارد الذي يحمله ويقيس به يتغير ما بين لحظة وأخرى ، فقد يكون نصف متر أو ربع متر أو أكثر أو أقل ، وأن ثبات مقاييس الابعاد لا وجود لها في هذا الكون بحسب النظرية النسبية .

وكذلك الكتلة التي يعرّفها الفيزيائيون بأنها المادّة الموجودة في حجم

معين . ففي السنتمتر المكعب الواحد توجد كتلة من الماء مقدارها جرام واحد (على درجة الحرارة المعيارية) . وكتلة الماء هذه قد يزيد وزنها إذا حملناها إلى غور نهر الأردن وانخفضنا بها عن مستوى سطح البحر ، وقد ينقص وزنها إذا حملناها إلى قمة جبل صنين . والفيزيائي يفهم أن وزن الكتلة هو في حدود جرام واحد ، والجاذبية الأرضية هي التي تزيده قليلاً أو تنقصه قليلاً بحسب بعد الكتلة عن مركز الجاذبية الارضية . ولكن لم يكن يخطر ببال الفيزيائي يوماً من الأيام أن هذه الكتلة قد تتخلى عن تأثير أية جاذبية مهما كانت ويصبح وزنها جرامات عديدة قد تبلغ الألوف أو أكثر .

ولو ركب فيزيائي كلاسيكي الطائرة من بيروت إلى عمان وكانت سرعة الطائرة اربعمائة ميل في الساعة واستغرقت رحلته ساعة من الزمن وسألته أن يصف لك هذه الرحلة بمفاهيمه الفيزيائية لقال إن الطائرة اقلعت من مطار بيروت بسرعة اربعمائة ميل واتجهت إلى الجنوب الشرقي ، ولاستطاع أن يحدد لك الاتجاه بالدرجات ، حتى وصلت إلى مطار عمان فهبطت فيه واستغرقت الرحلة ساعة من الزمن . ولن يخطر بباله أن يقول لك إن عمان هي التي اتجهت اليه أو أن الاتجاهات الاربعة متغيرة غير ثابتة وأن السرعة التي كان يسير بها أقل من اربعمائة ميل بكثير أو أكثر بكثير ، لا سيما وقد كان يقرأ عداد السرعة أثناء طيرانه ، وأن الفترة التي بدأت بإقلاع الطائرة من مطار بيروت وانتهت بهبوطها في مطار عمان قد تكون أكثر بكثير من ساعة وقد تكون بضعة أيام وقد تكون أقل من ساعة بكثير .

إن مقاييس الابعاد (بما في ذلك المساحات والحجوم) ، والكتلة والمكان والزمان والحركة (أي السرعة) هي مقاييس معروفة لها معايير مطلقة لا جدال فيها في نظر الفيزيائي الكلاسيكي ، وفي نظري ونظرك أيها القارئ . فالمتر أو اليارد (ومشتقاتهما) لقياس البعد ، ومنهما المتر

المربع والمكعب وكذلك اليارد المربع والمكعب . والجرام أو الرطل الانكليزي لقياس الكتلة والوزن . والجهات الأربع وخطوط العرض والطول تحدد المكان ، والساعة تحدد الزمان . وإذا قطع شيء مسافة معينة في فترة معينة من الزمن يقول الفيزيائي أن سرعة ذلك الشيء كذا متراً في الدقيقة مثلاً ، في الاتجاه الفلاني .

لا أظن أن هناك خلافاً حول هذا الحديث كله بين القارئ والكاتب من ناحية وبين الفيزيائي الكلاسيكي من ناحية أخرى ، بل قد يتساءل القارئ عن فائدة هذا الكلام وهو مفهوم جداً لديه . وهل هناك شك في طول المتر أو الفترة التي تحددها الساعة (إذا كانت مضبوطة طبعاً) ؟

أجل ، أيها القارئ الكريم ، هناك ضرورة ماسة لذكر هذا كله . لأن السيد آينشتاين لا يعجبه شيء من هذه المفاهيم وينظر الينا نظرة عطف واشفاق وكأنه يقول : « إنكم مساكين تفكرون في عالم ذي ثلاثة ابعاد فقط ، أما العالم الذي نعيش فيه في الواقع فهو ذو اربعة ابعاد . تفكرون بعالم ثابت ، لكنه في الواقع متغير ، ليس فيه مقياس مطلق غير مقياس واحد فقط ، أما بقية المقاييس فهي متغيرة بالنسبة لمن يشاهدها ويقيسها » .

وهكذا فإن آينشتاين ينفي وجود شيء ثابت في هذا الكون (عدا شيء واحد) ، ويرى أن كل المقاييس نسبية ، أي أنها تدل على مقدار معين بالنسبة لمن يشاهدها فقط ، والأشياء نفسها تبدو بمقدار معين آخر بالنسبة لمشاهد آخر . وهذه المقاييس تشمل مقاييس الابعاد والحجوم والكتلة والمكان والزمان والحركة والسرعة .. الخ ... وسنرى فيما يلي من هذا الكتاب أموراً قد تكون غريبة علينا كل الغرابة . فسوف نجد أن المتر المعياري المطلق المعروف عندنا في هذه الكرة الأرضية بأنه يدل على مسافة معينة هي مئة سنتمتر قد يقيسه مشاهد مار بسرعة خارقة في صاروخ بالقرب من الارض فيجد أن طوله ثمانون سنتمتراً فقط ،

ومشاهد آخر مارّ في صاروخ أكثر سرعة قد يجد طوله خمسين سنتمتراً ، ومشاهد ثالث في صاروخ سائر بسرعة تقارب سرعة الضوء يجد أن طوله بضعة سنتمترات ، ولو أمكن لمشاهد أن يسير بسرعة الضوء (وهــذا مستحيل) سيجد أن طوله صفر — أي لا طول له . ولا يرجع هــذا الاختلاف بين المشاهدين لخطأ في آلات الرصد التي يستعملونها ، فمن المفروض في كلامنا هذا أنهم يحملون آلات أوتوماتيكية دقيقة معصومة عن الخطـأ . (والعصمة لله وحده ، ولكن تبسيط النظرية النسبية يحوجنـا إلى استعمال تعابير كهذه) . بل إن طول المتر يختلف اختلافاً ضئيلا ما بين أيدينا ونحن نحمله إذا ما وضعنا محوره مرّة باتجاه دوران الأرض ومرّة أخرى جعلنا محوره عمودياً على اتجاه دورانها .

فالشيء الواحد قـد يقيسه عدّة مشاهدين في وقت واحد من محلاّت مختلفة وكلّ واحد منهم يسير بسرعة تختلف عن الآخر ، ويعطينا كلّ واحد منهم نتيجة قياسه ، فاذا بها نتائج مختلفة لطول الشيء نفسه . ويكون كلّ واحـد منهم مصيباً ونقول لـه : « أحسنت . جوابك صحيح » .

إذن فالقياسات هي بالنسبة لمن يشاهدها . ولهذا سميت بالنظريـة النسبية .

أما الشيء الوحيد الثابت الذي يرتكز عليه آينشتين في نظريته ، فهو سرعة الضوء . حتى في هذا الشيء فإنه يرينا العجب العجاب ... ولكننا سنتحدث عن الضوء فيما بعد . أما الآن فلنتابع حديثنا بسرعة أبطـأ من سرعة الضوء .

يقول البعض أحياناً أن كلّ شيء نسبيّ في مجالات يقصدون بها وجود المادة أو عدم وجودها . إن النسبية لا تنفي حقيقة وجود المادّة كما يتصورون ، إنما نكرر مؤكدين بأنها تعني أن القياسات التي يسجلهـا المشاهد بأدق الآلات لشيء معين تختلف باختلاف حركة المشاهد بالنسبة

للشيء المقاس . أما مادّة الشيء المقاس فهي موجودة لا شك فيهـا وليست هي موضع البحث . والقياسات المختلفة للشيء الواحد كلّهـا صحيحة . ولا يوجد في الكون مقياس معياري يمكن أن نعتبره المقيـاس الأصيل للطول أو الكتلة أو الزمن أو ما إلى ذلك من المقاييس ، ووجود مقياس معياري أصيل يصبح في الامكان لو وجدنا شيئاً ثابتاً ثبوتاً حقيقياً ، في مكان معين يقيسه مشاهد ثابت ثبوتاً حقيقياً في مكان معين أيضاً . ولكن الثبات في مكان معين شيء لا وجود له في هذا الكون . فكل شيء في الكون متحرك ، دائب الحركة ، فالكتاب الذي يمسكه القارئ الآن بيده ثابت بالنسبة له ، والقارئ ثابت بالنسبة للأرض ، ولكنهما بالنسبة للكون متحركان .

إني لأرجو أن لا يكون في الصفحات القليلة السابقة ما يثبط عزم القارئ عن متابعة القراءة في هذا الكتاب . فالواقع أنها شبه خلاصة لكثير من المواضيع التي سوف نبحثها معاً ، ذكرناها لمجرد اعطاء فكرة عمـا ننوي بحثه ، لذلك سوف تبدو له عسيرة صعبة الفهم لأنها ذكرت في هذا العرض السريع . لكني أطمئن القارئ بالاً بأن كلّ ما ورد سيبحث بشكل أبسط وأسهل ، آملاً أن تصبح النظرية على جانب كبير من الوضوح .

المكان في النسبية

إني أرى أن تسلسل الحديث قد قادنا إلى موضوع المكان .

إن المرء ليغبط الإنسان الذي عاش في العصور القديمة أو العصور المتوسطة على مفاهيم الثبات التي كان يحملها عن نفسه وعلى ثقته في العالم الذي كان يعيش فيه . كان يعتبر أن الارض التي يعيش عليها هي مركز الكون ، وهو الآمر المسيطر في هذا المركز . والشمس والقمر والنجوم كلها تدور حوله . ولا شك أن ايمانه في نفسه كان ايماناً عظيماً . وهل هناك اجمل من أن يرى الانسان نفسه الجوهر الكريم في العالم الذي يحيط به ؟ لكن كوبرنيكس — جزاه الله خيراً — لم يترك الامور سائرة في السبيل السويّ الذي كانت تسير فيه . فأعلن للملأ بأن الأرض تابع يدور حول الشمس كما تدور بقية الكواكب الأخرى ، وأن الشمس هي مركزنا لا الأرض . لقد تزعزع ايمان الانسان بقيمته في هذا الكون ، لكنه ظل يرى أن الشمس هي مركز الكون ، وفي هذا بعض العزاء ؛ فنحن والشمس عائلة واحدة ، لا تكليف بيننا وهي أمنا الحنون . لكن يظهر ان العلم لا يترك مجالاً لهدوء البال . فقد تابع الفلكيون واشتغلت التليسكوبات والمراصد ، وإذا بعلم الفلك يقول إن الشمس ما هي إلاّ نجم متوسط الحجم من نجوم مجرّة « درب التبانة » التي يبلغ عددهـــا

مئة ألف مليون نجم تقريباً .... ومن لا يصدق فليعدها بنفسه ! ولو قالوا بأن الشمس واقعة في منتصف المجرّة وأنها في المركز ، لكان الأمر هيناً خفيف الوقع ، ولا ريب في أن ايمان الانسان بقيمته سيظل على ما كان عليه ، ولكنهم وجدوا أنها واقعة قرب الطرف ، في موقع مدحور ، ليس من العظمة في شيء .

ولم يقف الأمر عند هذا الحدّ ، بل وجدوا أن هناك من المجرّات في الكون بعدد النجوم الموجودة في « مجرتنا درب التبانة » . فما هي القيمة التي بقيت للانسان المسكين ؟ وما مركزه في هذا الكون ؟ إنه لشيء ضئيل حقاً ... وليته يدرك ذلك .

وليس هذا كل ما في الأمر . فعندما كان الانسان يعتقد بأن الارض مركز الكون كان يعتبر أنها ثابتة في موضعها لا تتزعزع . ولا شك في أن شعوره بعظمته يبلغ الأوج حينما يرى أن النجوم والشمس والقمر تدور حوله وهو متربع على الأرض مسيطر عليها . هو ثابت وأرضه ثابتة ، أما خدمه وأتباعه — النجوم والشمس والقمر — فهي التي تتعب نفسها إكراماً له واعترافاً بعظمته واجلالاً لقدره .

لكن هذا كلّه كان حلماً . فقد بيّن العلم الحديث أنه غير صحيح وأن عظمته ما هي إلاّ عظمة جوفاء . فثباته نسبي ؛ أي بالنسبة لسطح الارض التي يعيش عليها فقط لا غير (كما يكتبون في مستندات الديون) .
أما في الواقع فهو يتحرك . ويا لها من حركة سريعة جداً ، هائلة جداً . يتحرك مع سطح الأرض والارض نفسها — الأرض الثابتة تحت أقدامه ... وليته يتحرك حركة واحدة أو اثنتين ، إذن يهون الامر ويسهل الحساب ، إنما يتحرك حركات متعددة جداً في آن واحد .

فهو يتحرك مع سطح الأرض حين تدور حول نفسها . وسرعته باتجاه دورانها تبلغ ربع الميل في الثانية (أي ٩٠٠ ميلاً في الساعة) إذا كان على خط الاستواء (وأقل من ذلك كلما قارب القطبين طبعاً) .

وهو يتحرك مع الارض نفسها في دورتها السنوية حول الشمس . والأرض تسير في حركتها هذه بسرعة ١٨،٥ ميلاً في الثانية (أو ثلاثين كيلو متراً في الثانية) .

والشمس وكواكبها سائرة بالنسبة إلى جاراتها النجوم (ونعني بالجارات هنا النجوم التي تبعد عنا بضع مئات من السنين الضوئية فقط) نحو نقطة تقع ما بين مجموعة الجاثي **Hercules** ومجموعة اللورا **Lyra** بسرعة اثني عشر ميلاً في الثانية .

والشمس كما قلنا هي إحدى نجوم مجرّة درب التبانة . وهذه المجرّة ، كالمجرات الاخرى تدور حول نفسها بسرعة هائلة . وشمسنا تدور معها طبعاً ، وسرعتها في هذا الاتجاه مئة وعشرون ميلاً في الثانية (٤٣٢٠٠٠ ميل في الساعة) .

ومجرّة درب التبانة ، كباقي المجرات الأخرى ، منطلقة في الفضاء ، تتباعد عن أخواتها . وتختلف سرعة تباعد المجرات عنا ما بين ٦٠٠ — ٤٠٠٠٠ ميلاً في الثانية . وإذا وصلنا إلى هذه النقطة فمن الصعب أن نقول فيما إذاً كانت المجرات الإخرى هي التي تهرب منا بهذه السرعة ، أو نحن الذين نهرب منها بالسرعة نفسها أو أن كلاً منا هارب من الآخر بنصف السرعة المذكورة . إننا هنا لا نستطيع أن نتكلم عن سرعات كهذه إلاّ بمفاهيم النسبية . فإذا قلنا إن مجرّة من المجرات تتباعد عنا بسرعة ٤٠٠٠٠ ميل في الثانية هو كأن تقول إننا نتباعد عنهـا بسرعة ٤٠٠٠٠ ميل في الثانية ، لا فرق اطلاقـاً بين التعبيرين . أما من يتحرك في الواقع ؟ فهذا أمر لا يعنينا ، بل لا نستطيع أن نحدده ، لأننا لو شئنا ذلك لكان من الضروري أن نجد مكاناً ثابتاً مطلقاً في الكون ، نعرف بالنسبة اليه ما إذا كانت المجرّة الفلانية واقفة أو متحركة وما هي سرعتها المطلقة في حركتها هذه . ولكن النظرية النسبية تقول **ليس في هذا الكون مكان مطلق** .

وإذا رأى القارئ أن الكتاب الذي في يده ثابت وأنه نفسه ثابت ، فالأمر نسبيّ . فالقارئ والكتاب ثابتان بالنسبة لبعضهما البعض وبالنسبة للأرض التي هما عليها . أما في الواقع فهما متحركان بالنسبة للكون . وهل تعلم أيها القارئ الثابت أنك إذ تبدأ بقراءة هذه الجملة تكون في مكان معين من الكون وإذ تنتهي من قراءتها تكون قد وصلت إلى مكان آخر قد يبعد عن الأول مئات الاميال . ومما لا شك فيه أنك قد بدأت بقراءة هذا الكتاب في مكان ما من الكون يبعد عنك الآن ملايين الأميال . إنك مسافر أيها القارئ في هذا الكون على ظهر مركبة ، اسمها الأرض منطلقة في هذا الفضاء بسرعة خارقة لكن في نظام بديع . فنتمنى لك (ولنا طبعاً) سفراً ميموناً ...

ويمكن الآن أن نعود إلى قصة صديقنا الفيزيائي الكلاسيكي الذي قلنا فيما سبق أنه سافر من بيروت إلى عمان ، والذي يقول لك إنه تحرك من مطار بيروت إلى مطار عمان وتم انتقاله هو وكتبه الكلاسيكية داخل الطائرة . إن مفاهيمه القديمة التي يبني عليها حديثه تتضمن ثبات المطارين وتتحدث عن انتقاله من مكان ثابت في هذا الكون إلى مكان ثابت آخر أي تتضمن المكان المطلق .

ولكننا أصبحنا نعرف الآن أن هذين المطارين — كباقي سطح الارض كله — يتحركان حركات سريعة منتظمة ضمن النظام الدقيق الذي مرّ ذكره . ونكون في الواقع بقصتنا هذه قد اضفنا حركة أخرى بطيئة جداً إلى الحركات العديدة المنتظمة السريعة السابقة . ولو أتيح لنا أن نجلس في زاوية منعزلة من زوايا الكون (وهذا مستحيل لأنه يعني المكان المطلق ، ولهذا استعملنا كلمة « لو ») ونشاهد الوضع كلّه والحركات أثناء حدوثها ، لرأينا أن صديقنا الفيزيائي انفصل في لحظة من اللحظات عن مطار بيروت والتقى بعد زمن معين بمطار عمان . وقد نرى من زاويتنا تلك (نتيجة هذه الحركات المعقدة كلها) أن الطائرة ارتفعت من مطار بيروت

وأخذت تتباطأ حتى وصلها مطار عمان فهبطت فيه . أو قد نرى أنها ارتفعت من مطار بيروت واتجهت إلى نقطة يتجه اليها مطار عمان فالتقيا في تلك النقطة وهبطت فيه . وهكذا فإن احتمالات عديدة تكون نتيجتها هبوط الطائرة في المطار .

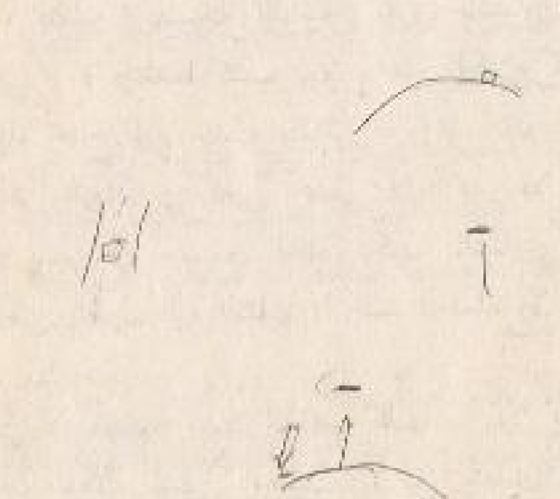
أما في الحقيقة ، ومن وجهة النظرة العامة الشاملة إلى الكون كله ، من الذي تحرّك تجاه الآخر ؟ الطائرة أم المطار ؟ إن هذا صعب التحديد (بل مستحيل التحديد) ما دمنا على سطح الأرض . والذي يستطيع أن يحدده هو الانسان الجالس في مكان ثابت من الكون . وهذا الانسان مستحيل الوجود . ولهذا يجب أن لا يكون لدينا فرق بين أن نقول **إن الطائرة ذهبت إلى المطار أو المطار ذهب إلى الطائرة .**

والشيء نفسه يقال عن سرعة الطائرة . فالأميال الاربعمائة التي تقطعها في الساعة هي سرعتها بالنسبة لسطح الأرض فقط . أما بالنسبة للكون فنحتاج إلى مقارنة مماثلة مع حاصل السرعات العديدة ، وهذه لا يدركها إلاّ الانسان المستحيل الذي جلس في زاوية الكون المستحيلة .

وقبل أن ننهي حديثنا عن المكان في النظرية النسبية يجب أن نذكر شيئاً عن الجهات . إن الشمال والجنوب والشرق والغرب وفوق وتحت هي اصطلاحات تدل على جهات معينة في الكرة الأرضية فقط . وقد اعتدنا أن نرسم الشمال فوق، والجنوب تحت، لأن الذين يرسمون الخرائط ويصنعون نماذج للكرة الارضية يقدمونها على أن نقرأها وهي في هذا الوضع . فيبدو القطب الشمالي متجهاً إلى « فوق » والقطب الجنوبي إلى « تحت » . أما بالنسبة للكون فهذه الاصطلاحات لا معنى لها . إن القطب الشمالي للكرة الارضية يشير إلى النجم القطبي الشمالي والقطب الجنوبي يشير إلى القطب الجنوبي . ولكن هل معنى هذا أن نجم القطب الشمالي فوق وأن القطب الجنوبي تحت ؟ إنها بالنسبة إلى اصطلاحاتنا على سطح الكرة الارضية كذلك . أما في الواقع فلا معنى لهذه الاصطلاحات عندما ننظر

نظرة شاملة إلى الكون كلّه .

هل رأيت أين يوصلك آينشتاين بنظريته أيها القارئ ؟ إن أقل ما يعمله هو أن يجعلك لا تعرف فوقك من تحتك .



الزمانُ في النسبيّة

يقول نيوتن ابو الفيزياء الكلاسيكية ما يلي : « إن الزمن الرياضي الحقيقي المطلق ، بنفسه وبطبيعته الذاتية، يجري بالتساوي ودون أية علاقة بأي شيء خارجي . » وعندما كتب نيوتن هذا الكلام كان يعرف أنه لم يأت بشيء جديد يحتاج إلى جدل ونقاش ، إنما كان يريد أن يضع المفاهيم المعروفة عن الزمان في نصّ علمي لا أكثر ولا أقل . فالمفهوم بداهة ان الزمان يسير في جميع انحاء الكون بالتساوي . وصحة هـذا المفهوم أمر لم يكن يتطرق اليه الشك لا عند العلماء ولا عند الفلاسفة ولا عند المتفلسفين .

لكن آينشتاين لا تعجبه هذه المفاهيم كلّها ، ولا يكتفي في النظرية النسبية باثبات أن المكان نسبيّ وحسب ، بل يتعدى ذلك إلى جميع المفاهيم الكلاسيكية الأخرى واحداً واحداً ينتزعها من ثباتها ويجعلها نسبية ؛ وكأن بينه وبين المفاهيم الكلاسيكية عداء شديداً .

وبما أن العالم – على رأي النظرية النسبية – هو ذو أربعة أبعاد ، وقد كان المكان (الذي يشمل في مفهومنا ثلاثة ابعاد مسافية هي الطول والعرض والارتفاع) نسبياً ، إذن ، لماذا لا يكون البعد الرابع نسبياً ؟ أي أن الزمان نسبيّ والزمان المطلق الذي يتحدث عنه نيوتن لا وجود له .

وتعليل نسبية الزمان تشابه بعض الشبه تعليل نسبية المكان .

إننا نقدر الزمن على سطح الأرض باليوم واجزائه (الساعة والدقيقة والثانية) ومضاعفاته (الشهر والسنة والقرن) . واليوم هو الوقت الذي تستغرقه الأرض لإتمام دورة كاملة حول نفسها ، والسنة هي الوقت الذي تستغرقه لاتمام دورة كاملة حول الشمس وتبلغ ٣٦٥ يوماً وربع اليوم . ولكن كل كوكب من عائلة الشمس له يومه الخاص وسنته الخاصة . فسنة الكوكب بلوتو تبلغ ٢٤٨ سنة من سنواتنا وسنة عطارد هي ثلاثة شهور . ولا شك أن من حكم عليه بالسجن خمسة عشر عاماً لا يتمنى أن يكون في بلوتو بحال من الاحوال ، بينما يرغب الرغبة كلها ان يكون في عطارد .

إن هذا الاختلاف بين مقاييس الزمن الموجودة على كواكب عـائلة الشمس يجعل من الصعب علينا أن ننتخب مقياساً معيارياً . فأيّ يوم من أيام الكواكب ستتخذ مقياساً ؟

لكن لنفرض أننا اتخذنا مقاييس الزمن على الأرض هي المقاييس المعيارية (وهذا ما نفعله في حديثنا الآن) وجعلنا ساعتنا المعيارية هي فترة الزمن التي تمر على الأرض ونسميها ساعة ، فسوف تبرز لنا عندئذٍ مشاكل أخرى حول الزمن نفسه .

فالكون واسع الأرجاء جداً جداً (ولا أظن « جداً » مرتين أو مئة مرّة كافية للتعبير عن سعته) . ولقياس المسافات الكونية الشاسعة كالمسافات ما بين المجرات ، لا يستعمل الفلكيون المقاييس العادية كالشبر والقدم واليارد والمتر ، حتى ولا الكيلو متر والميل ، لأنهم سيجدون عندئذ أرقاماً ضخمة تصعب قراءتها . وإنما يستغلون سرعة الضوء (وهي موضوعنا التالي) لهذا الشأن . فمن المعروف أن الضوء يسير بسرعة خارقة فيقطع ١٨٦ ألف ميل في الثانية (٣٠٠ ألف كيلو متر في الثانية) ، أي أنه يدور حول الكرة الأرضية في الثانية الواحدة سبع مرات ونصف المرّة . وهو يصلنا من القمر في ثانية وثلث الثانية ومن الشمس في حوالى ثماني دقائق . ويقول

الفلكيون عندئذٍ بأن بعد القمر عنا ١ ١/٣ ثانية ضوئية وبعد الشمس عنا ثماني دقائق ضوئية ، وعلى هذا المنوال يقيسون . (وأرجو من القارئ أن يلاحظ أننا بدأنا منذ الآن نستعمل قياسات زمنية للدلالة على ابعاد طولية) وإننا نعرف من أقوال الفلكيين أن أقرب النجوم الينا وهو « ألفا قنطورس » يبعد عنا أربع سنوات ضوئية . وهناك نجوم تبعد عنا آلاف السنين الضوئية تقع ضمن نطاق مجرتنا « درب التبانة » ... وبهذه المناسبة علينا أن نعرف أن قطر درب التبانة يبلغ ثمانين الف سنة ضوئية . أي أن الضوء الذي يصدر من طرفها يصل إلى الطرف الآخر في مدة تبلغ ثمانين ألف سنة من سنواتنا .

وبناءً على ذلك ، فإذا حدث حادث في القمر مثلاً فإننا نعلم بوقوعه بعد ثانية وثلث الثانية ، وإذا حدث في الشمس فإننا نعلم بوقوعه بعد ثماني دقائق ، وإذا ما انفجر نجم « ألفا قنطورس » سنة ١٩٦٠ فلن نعلم بوقوع هذا الانفجار الا في سنة ١٩٦٤ ، لأن أسرع وسيلة لنقل أخبار من هذا القبيل (حتى بحسب رأي آينشتاين نفسه) هي الضوء ، والضوء يستغرق أربع سنوات في قطع المسافة ما بيننا وبين هذا النجم ، وليس صحيحاً أن أخبار الزواج والطلاق بين النساء تنتقل بهذه السرعة ! !

وإذا حدث اصطدام بين نجمين من نجوم مجرتنا يبعدان عنا خمسين الف سنة ضوئية فإننا لن نعلم بوقوع هذا الحادث إلا بعد مرور هذه المدة من وقوعه .

كل هذا ونحن لا نزال ضمن نطاق مجرتنا درب التبانة ، فإذا انتقلنا إلى المجرات الأخرى وجدنا أرقاماً لا يكاد يصدقها العقل . فالتلسكوبات الحديثة اكتشفت مجرات على بعد ألف مليون سنة ضوئية ... ويقدر شارلييه **Charlier** أن قطر الكون عشرة آلاف مليون سنة ضوئية ، أي ان الحادث الذي يحدث في مجرة في طرف الكون لا تعلم به (أو

يستحيل أن تعلم به) مجرة في الطرف الآخر قبل مرور عشرة آلاف مليون سنة من سنواتنا !

وإذا ما نظرت إلى السماء في ليلة غاب فيها القمر فإنك ترى النجوم . ولكن هل تعلم أيها القارئ أنك لا ترى نجماً واحداً في اللحظة التي تنظر فيها اليه . إنك ترى الضوء الذي صدر عن هذه النجوم قبل سنوات . قد تكون أربع سنوات إذا كنت تنظر إلى الألفا السنتوري ، وقد تكون مئات السنين أو آلاف السنين إذا كنت تنظر إلى نجوم أخرى أو مجرات أخرى . إنك لا تعرف حادثاً مما يقع الآن في أحد هذه النجوم . قد تكون « ألفا قنطورس » اختفت بقدرة قادر منذ سنة أو سنتين أو ثلاث سنوات ، ولكنك لا تزال تراها كما كانت قبل أربع سنوات ومن المستحيل أن تعرف ماذا يحدث فيها الآن .

والشيء نفسه يقال بالنسبة للنجم الذي يبعد عنا مليون سنة ضوئية . إنك تنظر إلى الشعاع الذي صدر منه قبل مليون سنة والذي يحدثك عن حالته في الوقت الذي بدأ فيه ظهور الانسان على الارض . أما النجوم التي تبعد عنا ألف مليون سنة ضوئية فإننا نرى الآن شكلها وحالتها عندما كانت الحياة على الارض بادئة في التكوين وعندما لم تكن قد نشأت اللبونات والزواحف والطيور ولم يكن قد ظهر أيّ من الفقريات ... ماذا حدث لهذه النجوم في هذه السنين الطويلة ؟ لا أحد يدري ، ومن المستحيل أن يدري . قد تكون انطفأت أو انفجرت منذ ملايين السنين ، ولكننا لا نزال نراها حتى الآن !

إن الكون واسع جداً ، مترامي الأطراف ، كلّ شيء فيه في حركة مستمرة منتظمة ، ولا يوجد رابط زمني يربط ما بين أجزائه . فكلمة « الآن » لا معنى لها إلا في هذه الأرض ، وإذا توسعنا نقول إن لها معنى في الأرض وبعض الكواكب المجاورة والشمس — إذا لم يكن حسابنا الزمني من الدقة بحيث يؤثر فيه بضع ثوان أو عدد من الدقائق . وتوسع كهذا

جائز عُرفاً في مطارحات الغرام ورسائل العشاق ، إذ يكتب الفتى المدله يقول « إني أنظر الآن إلى القمر فأرى فيه وجهك الوضاء ... » ولو تحرى الدقة العلمية لقال « إني انظر الآن إلى أشعة القمر التي صدرت منعكسة عن سطحه قبل ثانية وثلث الثانية من رؤيتي لها فأرى فيها وجهك الوضاء ... » . ولكن ألا يوافقني القارئ على أن ادخال العلم في أصول الحب والغرام أمر بارد حقاً .

إذن ، فالكون ككل ، من الناحية الزمنية مفكك الاوصال .

كلّ هذا حتى الآن معقول .

ولكن النظرية النسبية لا تقف بنا في الزمن عند هذا الحد ، فتقول إن **الزمن نفسه لا يجري في جميع أنحاء الكون بالتساوي** ، كما قال نيوتن ؛ بل هو يطول ويقصر حسب ظروف معينة وأمكنة معينة .

ولا تعني النظرية النسبية بطول الزمن وقصره ما تشعر به أنت . فمن المعروف عادة أنك إذا قضيت ساعة في جلسة يحف بها الماء والخضراء والوجه الحسن تجد أنها قد مرت مروراً سريعاً خاطفاً فلا تكادتصدق أنك قد قضيت ساعة ملؤها ستون دقيقة ، وتظن انك قضيت بضع دقائق فقط ، ومع ذلك فإذا نظرت إلى ساعتك تجد أن عقرب الدقائق دار دورة كاملة ، فتحتار للسرعة التي تسير بها العقارب وتظن أنها أصبحت عقارب نفاثة .

وعلى العكس من ذلك ، إذا حكمت عليك الاقدار ان تجلس ساعة إلى شخص ثقيل الظل بليد المعشر عميق الجهل معجب بخفة روحه ولطف معشره وسعة اطلاعه ، وأخذ يتحدث اليك في موضوع اختصاصك الذي لا يعلم عنه شيئاً وينثر من الدرر المكنونة والنصائح الغالية ، وكنت مضطراً للاستماع اليه والاصغاء إلى حديثه لسبب من الأسباب ، وما أكثر الأسباب التي تتيح للثقلاء أن يضيقوا الخناق على عباد الله ، انها أكثر من الثقلاء أنفسهم .

أقول ، إذا حكمت عليك الأقدار أن تجلس إلى ثقيل بهذه المواهب ، وقد تكون ككاتب هذه السطور ممن ينزل بهم هذا القضاء كلّ يوم ؛ فانك عندئذ تجد تسلية في النظر إلى ساعتك فتقوم بحركات رياضية منسجمة ، تتلخص في رفع اليد الشمال كي تظهر الساعة ، والالتفات برأسك إلى الشمال ودحرجة مقل عينيك حتى تقعا على عقاربها . وسيدهشك أن تجد العقارب واقفة أو شبه واقفة . إنها تسير بطيئة جداً وكأنها أصيبت بالكساح فأخذت تزحف زحفاً . وما يكاد عقرب الدقائق يتم دورة كاملة حتى تكون قد أحسست بأن الأرض في هذا الوقت قد دارت حول الشمس دورة كاملة ، وتكون قد قمت بتمرينك الرياضي السابق الذكر ثلاثمئة وستين مرّة .

على أية حال ، فإن الأثر في طول الساعة وقصرها في هاتين الحالتين : حالة الثقيل الظل وحالة الماء والخضراء والوجه الحسن ، راجع إلى شعورك ونفسيتك ، أما من الناحية العلمية فالساعة تظل ساعة تدل على فترة معينة من الزمن .

وليس هذا ما يقصده آينشتاين في النظرية النسبية ، إنه لا يقصد طول الساعة أو قصرها من حيث شعورك ومزاجك . إنه يقصد أن الساعة العلمية التي تدلّ على فترة معينة من الزمن ، هي التي تطول وتقصر تبعاً لظروف معينة وأمكنة معينة .

وسيقول القارئ عني الآن (الآن بالنسبة له وهو يقرأ ، لا بالنسبة لي وأنا أكتب) أنني بدأت أتكلم بلغة أعجمية ، وهذا ما كان يتوقعه من الأساس عن كلّ حديث في النسبية ، وسوف يلوم نفسه على مغامرته بقراءة هذا الحديث من الأصل .

لكن دعنا نتمهل قليلاً ونتعاون مع بعضنا البعض لنرى ماذا يقصد السيد آينشتاين بهذه الألغاز . لقد كنا منذ بداية الحديث على وفاق فلنكمله على وفاق .

وبالإضافة إلى ذلك ، أود أن أحيط القارئ علماً بأن هذا الحديث عن الزمان والحديث الذي سبقه عن المكان ما هما إلاّ مدخل إلى النسبية ، وحين يأتي بحث هذه المواضيع في مناسباتها سوف يفهمها فهماً صحيحاً – هكذا أتأمل – لأنها ستكون أوضح مما هي عليه الآن في هذا المدخل العاجل . فأرجو أن لا يجد فيما أتحدث شيئاً مثبطاً لهمته ، حتى ولو لم يفهمه فهماً كاملاً للمرّة الأولى .

إننا نقيس الزمن على الأرض بالساعة . والساعة هي الفترة الزمنية التي تدور فيها الارض جزءاً من اربعة وعشرين جزءاً من الدورة الكاملة حول نفسها . وهناك آلات مختلفة لقياس هذه الفترة الزمنية . أعرف منها الساعة العادية – سواء كانت ساعة جيب أو ساعة حائط أو ساعة يد – والمزولة (وهي الساعة الشمسية) والساعة الرملية . ولكل هذه الساعات مساوئ ، فقد تقف أو يطرأ عليها خلل فتتقدم أو تؤخر ، فلا تسجل عندئذ مرور الزمن بالدقة التي نحتاجها . لكن مالنا ولمساوئ هذه الساعات . ولنتصور – أنا والقارئ – ساعة خيالية نسميها الساعة السحرية لها صفات لا تتوفر في ساعة أخرى في هذا العالم . فهي لا تقف ولا تقدم ولا تؤخر لأي سبب من الاسباب التي نعرفها ، فلا تصدأ ولا يؤثر فيها المغناطيس ولا تتمدد بالحرارة ، بل إنها لا تنصهر مع الحرارة العالية بحيث إذا نقلناها إلى الشمس فانها تسجل لنا مرور الزمن هناك بالدقة التي تسجل بها مروره في أي مكان آخر . وخلاصة القول إن ساعتنا السحرية هذه لا يأتيها الباطل من بين عقاربها ولا من خلفها ، وإنما عملها أن تقيس لنا مرور الفترات الزمنية بدقة عجيبة غريبة في مختلف الاحوال والظروف ومن هنا استحقت الاسم الذي أطلقناه عليها : الساعة السحرية .

ساعة كهذه تصلح لنا لكي نقدر الزمن فيما يلي من كلام . والقصد منها أيها القارئ هو أننا إذا ما أخذنا نتحدث عن مرور الزمن في أمكنة مختلفة وحسب حركات مختلفة ، أن لا تصرف انتباهك إلى أي عامل من

العوامل التي نعرف انها تؤثر على الساعات العادية . فاذا قلنا لك مثلاً اننا نقلنا هذه الساعة إلى الشمس فلا تعود تفكر بأن حرارة الشمس سوف تصهرها ، وتنصرف بذلك عن التفكير في الموضوع الذي ترمي النظرية النسبية إلى ايضاحه .

★

يحدثنا آينشتاين بأن الزمن يطول ويقصر حسب أمرين ، الأمر الأول حسب السرعة وهذا ما يبحثه بالتفصيل في النظرية النسبية الخاصة . والأمر الثاني حسب الكتلة وهذا ما يبحثه في النظرية النسبية العامة .

ولكي نفهم فهماً أولياً ما يعنيه آينشتاين بهذا الكلام نفرض فروضاً قد تكون غير قابلة التطبيق في هذه الأيام ولكنها متوقعة الحدوث في المستقبل .

ولتوضيح تباطؤ الزمن مع السرعة نفرض أن لك صديقاً فضائياً قرر أن يترك الأرض ويقوم برحلة في الفضاء يريد أن يذهب بها إلى كوكب كبير كالمشتري مثلاً . وكلاكما يمتلك ساعة سحرية من التي تقدم وصفها . أما صديقك فيمتلك سفينة فضائية مزودة بقوة كبيرة تستطيع أن تسرع بها في الفضاء السرعة التي يريدها صاحبها بحيث تقارب سرعة الضوء إذا شاء . وأنت تمتلك مرصداً رائعاً فيه من المعدات ما يجعلك تعرف كلّ شيء يحدث في سفينة صديقك ، فتراقب منه ملامحه وتعرف من تحركات شفتيه الكلمات التي يقولها وتستطيع أن تعدّ نبضات قلبه وتقرأ ساعته السحرية متى شئت .

ستخرج بالطبع لوداع صديقك إلى المطار . وستذرف عيناك بعض الدموع ، لا لأنك آسف لفراقه ، فهذا الأسف قل أن يكون بين الاصدقاء في هذه الأيام . إنما العادة قد جرت أن نبكي لوداع المسافرين سفرات طويلة . على أية حال . فلن ينسيكما الموقف أن تنظرا معاً إلى ساعتيكما السحريتين ، وسوف تجدانهما مضبوطتين تقرآن نفس التوقيت

من الزمن .

وينطلق الصديق فتعود أنت إلى مرصدك تراقبه . وسوف تخبرك آلات المرصد بأنه أصبح يسير بسرعة عشرة آلاف ميل في الثانية ، وتنظر إلى ساعته السحرية فتجد أنها قد أخرت عن ساعتك قليلاً ؛ حتى إذا ما زادت سرعته فأصبحت مئة ألف ميل في الثانية تجد أنها قد تباطأت جداً وأصبح تأخيرها ملحوظاً . وإذا قاربت سرعته سرعة الضوء تجد أن ساعته السحرية لا تكاد تتحرك وأن عقاربها أشرفت على الوقوف . أما إذا سار بسرعة الضوء تماماً (وهذا مستحيل كما سنعرف فيما بعد) فإن عقارب ساعته تقف تماماً أي أن زمانه أصبح صفراً .

هل سمعت أيها القارئ بإنسان لا زمان له ؟ إنه صديقك الذي قلنا أنه يسير بسرعة الضوء .

إذن فالزمن يتباطأ حسب السرعة ، كلما زادت السرعة كلما زاد التباطؤ . وسوف ترى أموراً أخرى أشد غرابة من هذا .

ولتوضيح تباطؤ الزمن مع الكتلة نفرض أن صديقك قد وصل إلى كوكب المشتري بالسلامة وهبط هناك . إننا نعرف الآن أن المشتري غير صالح للحياة ، ولكن أرجو التغاضي عن هذه النقطة ، ولنفرض أن صديقك بشكل من الاشكال قد استقر هناك وبنى مرصداً وأتى المعدات والآلات مثل مرصدك ، وابتدأتما بالاتصال مع بعضكما البعض . إن أول شيء يسألك عنه هو الوقت . فهو قد درس النظرية النسبية كما درستها أنت ويعرف أن ساعته السحرية قد أخرت بسبب سرعته أثناء السفر ، ولكنه الآن قد استقر فيريد أن يضبط ساعته على ساعتك ، وتخبره أنت بالوقت الصحيح فيضبطها وتعود ساعة سحرية كساعتك التي تحملها على يدك . وتسأله بعد حين من الزمن — بعد بضعة أيام أو بضعة أسابيع — فتجدان أن ساعته السحرية التي تسجل مرور الزمن في كوكب المشتري قد أخرت ، وستعرفان أن السبب في تأخيرها في هذه الحالة هو كبر حجم المشترى

لأن الزمن يمرّ في كوكب ضخم كالمشتري ببطء أكثر مما يمر به في كوكب صغير نسبياً كالأرض ، وستستمر ساعته ، تؤخر بقدر معين مادام الصديق في المشتري . أما إذا حدث أن عاد إلى الأرض فستسير ساعته السحرية مع ساعتك ثانية بثانية ودقة بدقة .

ولو حدث أن كان لكما صديق ثالث في كوكب ضخم جداً أضخم من المشتري بمئات المرات أو آلاف المرات (لا وجود لكوكب كهذا في نظامنا الشمسي على الاقل) وكنتم الاصدقاء الثلاثة ، على اتصال مع بعضكم البعض ، فسوف تجدون أن ساعة الصديق الثالث تسير ببطء شديد بالنسبة لساعتيكما . وهكذا .

إذن فالزمن يسير ببطء عند الكتل الكبيرة .

إن هذه المفاهيم لا يرميها آينشتاين اعتباطاً في النظرية النسبية ، سواء العامة أو الخاصة ، وهي ستتضح لنا أكثر فأكثر كلما تقدمنا في هذا الكتاب . وسوف تدرك صحتها ، على مدى الغرابة التي نلمسها فيها الآن ؛ وسوف نرى من البراهين والاثباتات عليها ما لا يدع مجالاً للشك في صحتها .

إن الغرابة أيها القارئ في مفاهيم النظرية النسبية طريفة حقاً ، ولكنها يجب أن لا تعني عسر فهم النظرية على القارئ . وما دامت النسبية قد أصبحت راسخة الأركان في العلم الحديث فيجب أن نهيئ أنفسنا لهذه المفاهيم ، وإذا هيأنا أنفسنا عملياً لقبولها فسوف نجد أن صعوبتها ليست بالقدر الذي كنا نتصور .

هل استطعت أن تقدر الآن كيف يمكن أن يتباطأ الزمن مع السرعة وعند الكتلة ؟ إذا كنت قد استطعت ذلك ، إذن فلنتقدم خطوة أخرى .

فهناك أمر أشد حيرة مما ذكر حتى الآن .

فإذا كان الكون ككلّ ، مفكك الأوصال من الناحية الزمنية ، وإذا

كان نهر الزمن الجاري فيه يجري بغزارة في ناحية وببطء شديد في ناحية أخرى وبدرجة ثالثة من البطء في ناحية ثالثة وهكذا ، ألا يمكن أن نسأل : أين الحاضر وأين الماضي ؟ وأين المستقبل ؟

لو كان نهر الزمن يجري على الكون كله في اللحظة نفسها ، لاستطعت أن أقول بجزم أن الحاضر هو اللحظة التي أكتب فيها هذه الكلمات ، والماضي هو الفترة الزمنية التي سبقت هذه اللحظة وكتبت فيها الصفحات السابقة وعشتها وعاش غيري فيها منذ الأزل ، والمستقبل هو ما يلي هذه اللحظة من زمن . ولكني عندما أعي حقيقة سير الزمن المفكك الأوصال في هذا الكون أجد أن كلامي هذا لا ينطبق إلا على الارض التي أعيش فيها ، أي بالنسبة لي ولمن هم حولي .

أما في هذا الكون ، فقد يكون حادث من الاحداث في الماضي بالنسبة لجماعة وفي الحاضر بالنسبة لآخرين وفي المستقبل بالنسبة لجماعة غير هؤلاء وهؤلاء .

ولنعد الآن إلى الكلمة التي أصبحت مألوفة لدى القارئ مني ، ونقول « لنفرض » .

لنفرض أننا في القرن الخامس والعشرين بعد الميلاد . ونحن الآن في مرصد عربي كبير نشاهد أحد أساتذة الفيزياء في الجامعة وقد احضر ثلاثة تلاميذ يريد أن يمتحنهم الامتحان العملي في هذا الموضوع . وكل تلميذ منهم له سفينة فضائية خاصة مزودة بآلات رصد عديدة ومن جملتها ساعة سحرية . ويطلب الاستاذ منهم ان يسجلوا وقت انفجار نجم من النجوم وهم سائرون في الفضاء بسرعات مختلفة ومن أمكنة مختلفة . ويعين لهم النجم الذي سينفجر لأنه في ذلك القرن سيكون على علم بمواعيد انفجار النجوم ، فيخرج التلاميذ الثلاثة كل بسفينته التي تسير بسرعة خارقة ويتجهون إلى جهات مختلفة .

وبعد ذهابهم يخبرنا الاستاذ بأن النجم سوف ينفجر بعد بضعة أيام في

الساعة الثانية عشرة ليلاً ، ويطلب منا أن نحضر لمشاهدته . فنحضر إلى المرصد العربي في الساعة المعينة ونرى في تلسكوبه الكبير انفجار النجم المعين في تمام الساعة الثانية عشرة ليلاً حسب الساعة السحرية الموجودة في المرصد . وبعد أن نتمتع بمشاهدة الانفجار – وكثير من مناظر الانفجار تكون متعة للانسان إذا كانت في اعداء قوميّته – يطلب منا الاستاذ أن نعود للمرة الثالثة بعد بضعة أيام أخرى لاستقبال التلاميذ عند عودتهم من الفضاء وحضور نتيجة الامتحان .

ونعود كما طلب الينا ويرجع التلاميذ كل يحمل جوابه حسب ساعته التي تكون قد أخرت مع السرعة الشديدة ، فيطلب منهم الاستاذ اعطاء الجواب حسب ساعة المرصد العربي . فيحسبون ذلك ويقول الأول إن النجم قد انفجر في الساعة الحادية عشرة والدقيقة الخمسين حسب ساعة المرصد . فيسأله الأستاذ عن سرعة سفينته الفضائية أثناء رحلته وعن الوجهة التي كان يتجه اليها ، ثم يضع له علامة « صح » ويكتب « أحسنت » .

ويأتي دور الثاني فيقول : إن النجم انفجر في الساعة الثانية عشرة والدقيقة الخامسة عشرة حسب ساعة المرصد فيسأله الاستاذ عن سرعة سفينته واتجاهها ثم يضع له علامة « صح » ويكتب « أحسنت » .

ويأتي الثالث فيقول إن انفجاره كان في تمام الساعة الثانية عشرة حسب توقيت المرصد . فيسأله الاستاذ عن اتجاهه وسرعته ، فيجيبه على ذلك ، فيقول له الاستاذ « إنك كاذب كسول ، فقد سجلت رقمك هذا وأنت على الكرة الارضية لم تغادرها إلى الفضاء كما طلب منك . إنك قد ذهبت إلى مرصد آخر في الكرة الارضية وشاهدت انفجار النجم منه ؛ فإنك لن تعطينا هذا الرقم إلا إذا كنت معنا على الكرة الارضية ، ولكنك تخدعني فتقول انك كنت سائراً في الفضاء . إنك تغشني وتكذب علي ، ولهذا لا أكتفي أن أقول لك إنك راسب ، بل اقول لك إنك مطرود . »

وعلى ذلك فمن الصحيح جداً أن النجم انفجر في الساعة الحادية عشرة

والدقيقة الخمسين بالنسبة لمشاهد يتحرك بسرعة معينة بالنسبة للنجم المنفجر . ومن الصحيح جداً أنه انفجر في الساعة الثانية عشرة تماماً بالنسبة لمشاهد على الأرض ، والأرض تتحرك بسرعة غير الاولى بالنسبة للنجم المنفجر . ومن الصحيح جداً أنه انفجر في الساعةالثانية عشرة والدقيقة الخامسة عشرة بالنسبة لمشاهد ثالث في حركة نسبية تختلف عن الأولى وعن الثانية .

أي أننا عندما نكون في المرصد في الساعة الثانية عشرة تماماً ويرينـا الاستاذ في التلسكوب انفجار النجم يكون هذا الحدث قد وقع في الحاضر بالنسبة لنا ، وفي الحاضر بالنسبة للتلميذ الكسول الذي ذهب واختبأ في بقعة من الارض وأحجم عن الذهاب بسفينته إلى الفضاء . ويكون الحدث نفسه في الماضي بالنسبة للتلميذ الأول فقد وقع قبل عشرة دقائق ، ويكون الحدث نفسه في المستقبل بالنسبة للتلميذ الثاني ، أي سيقع بعد خمسة عشر دقيقة.

أي أن حادثاً في هذا الكون قد يكون في الماضي بالنسبة لمشاهد ، وفي الحاضر بالنسبة لمشاهد آخر وفي المستقبل بالنسبة لمشاهد ثالث ، إذا اختلفت حركة هؤلاء المشاهدين بالنسبة للمكان الذي يقع فيه الحادث . وإذا اختلفت أبعادهم عن موقعه .

أرأيت أيها القارئ ، كيف يخلط لك آينشتاين الماضي بالحاضر بالمستقبل

الأثير وسرعة الضوء

لنسترح قليلاً أيها القارئ النشيط ، في ركن من أركان الفيزياء الكلاسيكية التي تؤمن بثبات الأركان . الا تحس بدوار في رأسك من ركوب سفينة الفضاء ، ودوار في طمأنينتك حين تعرف أنك غير ثابت في الزمان ، ودوار في مفاهيمك حين ترى .أن الماضي والحاضر والمستقبل في هذا الكون أزمنة تختلط مع بعضها البعض ؛ كما تختلط أنواع المشروبات الروحية لتشكل لك كوكتيلاً . ولكن الكوكتيل المكون من الماضي والحاضر والمستقبل يسكر مفاهيمك العلمية أكثر مما يفعل كوكتيل المشروبات الروحية في أعصابك .

وعلى ذلك ، اقترح أن نتفيأ ظلاً من الفيزياء الكلاسيكية الثابتـة الراسخة لنستعيد رباطة جأشنا ونواصل سفرتنا النسبية مستجمعين قوانـا . والفيزياء الكلاسيكية هي الطبيعيات التي كنا ندرسها في المدارس وكانت تبدو لنا منطقية معقولة مقبولة نتلقى تعليماتها بهدوء في النفس واطمئنان في البال ، انها مجرد تفسيرات لما نرى ونسمع ونلمس من الظواهر الطبيعية ، ليس فيها ما يبلبل الفكر أو يهزأ بالأحاسيس .

وقد تكون عليماً بما سنقول ؛ فلن تجد جديداً فيه ، ألم أقل لك اننا

نقصد الراحة ؟ وإذا لم تجد فائدة تشكرها لي ، فأظن أنك ستشكر لي أن اعيدك قليلاً إلى أيام المدرسة السعيدة وما ترتبط به من احلام الشباب اليافع .

كنا عندما نقبل على ملعب كرة القدم نرى لاعباً ، عن بعد ، يضرب الكرة بقدمه ، وبعد لحظات نسمع صوت الضربة فنبتهج فرحاً إذ نرى التطبيق العمليّ لما تعلمناه في المدرسة ، وندرك أن الضوء ينتقل أسرع من الصوت . فينبري الكبار (أي من كانوا في الرابعة عشرة أو الخامسة عشرة) يفسرون هـذه الظاهرة للصغار الذين لم يدرسوا هذا الموضوع بعد .

كانت أمثلتنا آنذاك مستمدة من ظواهر الحياة المرحة ، كاللعب بكرة القدم في هذه الحالة . أما الآن فإني أنظر إلى الكتب الفيزيائية العديدة الموجودة أمامي فلا أرى أمثلة إلاّ عن طلقـة بندقية أو طلقـة مدفع ، فاضطر لاستعمالها وإن كنت أعلم ان صوتها سيزعج القارئ لا سيما إذ كان متمدداً على سريره وبدأ النعاس يدب إلى جفنيه .

لنتوكل على الله ، ولنضرب الطلقة وننظر اليها عن بعد . إننا نرى الوهج أولاً وبعد فترة نسمع الصوت . والشيء نفسه يقال في البرق والرعد ، فإننا نرى البرق أولاً وبعد فترة نسمع دويّ الرعد . والسبب في ذلك بسيط كما تعلمنا في المدرسة ، وهو أن الضوء اسرع من الصوت .

وقد قاس العالم ميرسين **Mersenne** سرعة الصوت في أوائل القرن السابع عشر بطريقة المدفع بأن جعـل زميلاً له يطلق المدفع بينما وقف هو على بعد سبعة أميال . ورأى وهج الطلقة ثم سمع الصوت بعد فترة من الزمن وهذه الفترة هي الوقت الذي استغرقه الصوت في قطع الأميال السبعة . ووجد بالحساب أن سرعة الصوت تبلغ ٧٠٠ ميل في الساعة . وقـد وجد العلماء فيما بعد أن سرعته الصحيحة ٧٥٠ ميل في الساعة (أو ٠,٢ ميلاً في الثانية أو ٣٣٠ متراً تقريبـاً في الثانية) .

وقد رأى العلماء في هذه السرعة آنذاك أمراً خارقاً حقاً . فالجواد الأصيل يقطع في ركضه أربعين ميلاً في الساعة ، وإذا بسرعة الصوت تتعدى فصيلة الخيول كلها .

جاليليو وسرعة الضوء :

أما الضوء فكانت حوله معركة حامية آنذاك بين العلماء ، منهم من يقول بأن سرعته لا نهائية خارجة عن نطاق حسابات العلوم ، ومن هؤلاء الفيلسوف ديكارت **Descartes**. ومنهم من يقول بأنها متناهية ومن هؤلاء جاليليو **Galileo** .

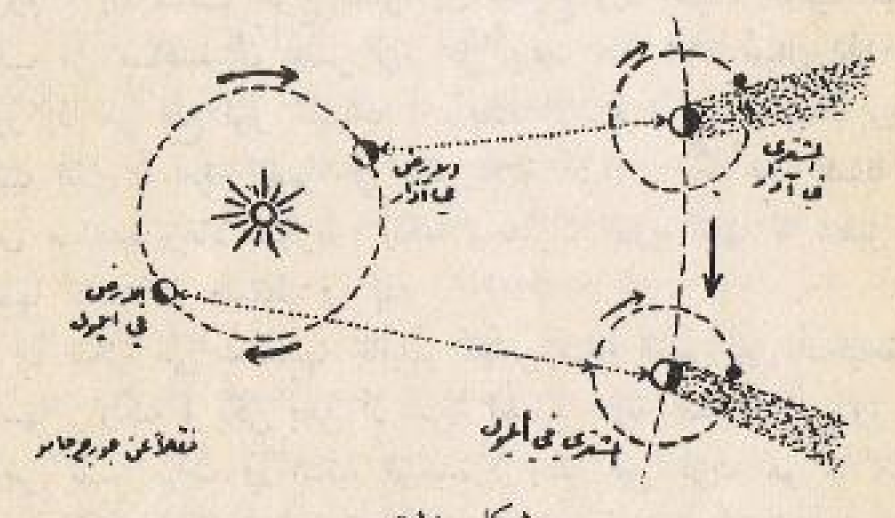
وقد حاول جاليليو أن يقيس سرعة الضوء لاثبات صحة رأيه . فخرج في ليلة ظلماء مع أحد مساعديه ، وكل منهما يحمل مصباحاً موضوعـاً في صندوق خاص مغلق ، له فتحة في احد جوانبه تغلق وتقفل عنـد اللزوم ، إذا فتحت يخرج الضوء إلى الخارج وإن اقفلت يحجب النور . وطلب من مساعده أن يجلس في محلّ يبعد عنه ثلاثة أميال وأن يفتح النور إذا هو فتح نور مصباحه . وأعطاه الإشارة فأجاب عليها ، وحسب الوقت الذي استغرقه الضوء في قطع ثلاثة أميال . ثم غير المسافة بينه وبين مساعده واعاد التجربة ، ولكنه وجد أن تجاربه كلها لا تنطبق على بعضها البعض ، فاسقط في يده .

إن الفكرة التي استعملها جاليليو لقياس سرعة الضوء هي صحيحة من أساسها . ولكنه لم يكن يظن أن سرعة الضوء خارقة جداً بحيث يدور حول الأرض سبع مرات في الثانية الواحدة . وهذا على غرابته هو ما تقولـه الفيزياء الكلاسيكية لا النظرية النسبية . ولا يعني ذلك أن النظرية النسبية تخالفه .

فكان مثل جاليليو في محاولته هذه مثل الذي يريد أن يقيس محيط الكرة الأرضية بالشبر .

رومر واقمار المشتري :

ولكن أول من قدر سرعة الضوء تقديراً صحيحاً يقارب الحقيقة هو العالم الدانماركي رومر **Roemer** في أواخر القرن السابع عشر . وقد استعمل لذلك احد اختراعات جاليليو وهو التلسكوب . فقد كان رومر يراقب الخسوفات في أقمار المشتري . وأقمار المشتري هي التي اكتشفها جاليليو أيضاً ، فوجد أن وقت خسوف هذه الأقمار واختفائها خلف كوكبها يختلف في الوقت الذي تكون فيه الأرض قريبة في مدارها من المشتري عن الوقت الذي تكون فيه بعيدة عنه . (انظر الشكل ١٤ء) . وقدر رومر أن هذا التأخير مسبب عن حركة الأرض في مدارها ، وأن الفرق في الوقت هو ما يحتاجه الضوء لقطع قطر المدار . وبناء على حساباته تلك وجد أن سرعة الضوء تبلغ ١٨٥٠٠٠ ميلاً في الثانية .



شكل ١٥ء

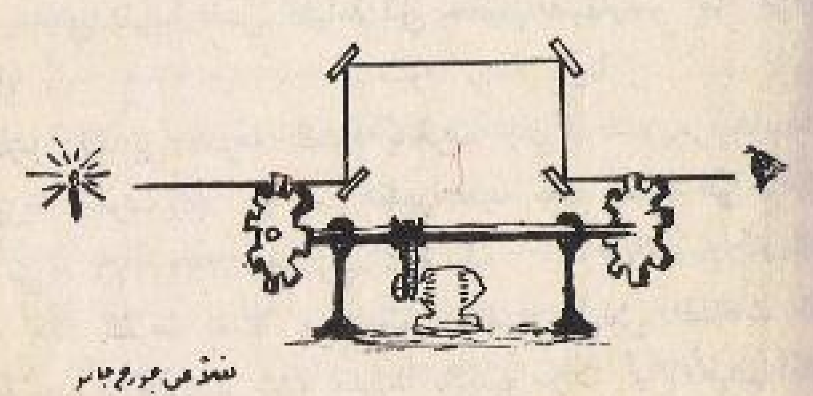
(طريقة رومر في قياس سرعة الضوء)

لهذا ندرك سبب فشل جاليليو عندما حاول أن يقيس سرعة الضوء في مسافة ثلاثة أميال .

طريقة فيزو :

ولكن العلماء فيما بعد اكتشفوا طرقاً أخرى لقياس سرعة الضوء أشهرها طريقتان : طريقة ميكلسون **Michelson** بالمرايا ، وطريقة فيزو **Fizeau** بالعجلة المسننة . وسأكتفي بذكر الأخيرة .

يتكون الجزء الأساسي من جهاز فيزو من عجلتين مسننتين (أي لهما أسنان) مركبتين على محور مشترك بحيث إذا ما نظرت من خلال الثغرات الموجودة ما بين الأسنان في العجلة الأولى وكانت نظرتك في اتجاه مواز للمحور فإنك تجد أن أسنان العجلة الثانية تغطي ثغرات العجلة الأولى . وبناء على ذلك ، فإذا أرسلنا شعاعاً ضوئياً موازياً للمحور فإنه لا يستطيع أن يمر من خلال العجلتين كيفما أدرت المحور . ولنفترض الآن أن هذا الجهاز ذا العجلتين المسننتين قد أخذ يدور بسرعة عظيمة . ولما كان الضوء الذي يمرّ ما بين سنينْ من العجلة الأولى يستغرق وقتاً قبل أن يصل إلى العجلة الثانية ، فسوف يستطيع أن يمرّ من احدى ثغرات العجلة الثانية إذا ما دارت العجلتان في هذه المدّة القصيرة من الزمن بمقدار نصف البعد ما بين ثغرتين متتاليتين . وعلى ذلك ، فان المرء يستطيع أن يقدر سرعة



شكل ٢٥ء

(طريقة فيزو لقياس سرعة الضوء)

الضوء أثناء قطعه للمسافة ما بين العجلتين ، إذا ما عرف سرعة دوران المحور وظهور الضوء أو اختفاءه حسب السرعة هذه . ومساعدة لنجاح هذه التجربة وتقليلاً لسرعة الدوران اللازمة ، فإن المرء يستطيع أن يطيل المسافة التي يقطعها الضوء ما بين العجلتين وذلك بواسطة المرايا كما هو ظاهر في شكل «٢» .

وبهذه التجربة تمكن فيزو من رؤية الضوء من خلال ثغرات العجلة التي كان ينظر فيها ، عندما كان الجهاز يدور بسرعة ألف دورة في الثانية . وبما أن سنّ العجلة يقطع المسافة ما بينه وبين مجاوره في نفس المدّة الزمنية للضوء لكي يقطع المسافة ما بين العجلتين ، وبما أن كل عجلة كان فيها خمسون سناً مماثلة الحجوم ، فقد كانت هذه المسافة تساوي جزءاً من مئة جزء من محيط العجلة . وعلى هذا يكون الزمن الذي يستغرقه السن لقطع المسافة بينه وبين مجاوره مساوياً ١/١٠٠ من الزمن الذي تحتاجه العجلة لكي تتم فيه دورة كاملة . ولما كانت هذه المدّة هي التي يستغرقها الضوء في قطع المسافة من عجلة إلى أخرى ، فقد حسب فيزو سرعة الضوء فكانت ٣٠٠,٠٠٠ كيلو متراً في الثانية أو ١٨٦,٠٠٠ ميلاً في الثانية ، وهي تقريباً نفس النتيجة التي حصل عليها رومر أثناء مراقبته أقمار المشتري .

وسنرمز فيما يلي لسرعة الضوء بالحرف (س) ، ويرمز لها عادة في الانكليزية بالحرف (c) . وأحسن تقدير نعرفه لهذه السرعة حتى الآن هو :

س = ٢٩٩,٧٧٦ كيلومتراً — ثانية أو ١٨٦,٣٠٠ ميلاً — ثانية

إن هذه السرعة الهائلة هي معيار مناسب لقياس المسافات الفلكية الشاسعة جداً ، والتي لو شئنا تقديرها بالكيلو مترات أو الأميال لكان علينا أن نكتب أرقاماً تملأ صفحات كاملة . وعلى ذلك فإن الفلكي يقول بأن نجماً معيناً يبعد عنا خمس سنوات ضوئية كما نقول في حديثنا عادة بأن

مكاناً يبعد عنا خمس ساعات بالسيارة أو بالقطار .. ولما كانت السنة تحتوي على ٣١,٥٥٨,٠٠٠ ثانية ، فالسنة الضوئية تدل إذن على مسافة تساوي ٣١,٥٥٨,٠٠٠ × ٢٢٩,٧٧٦ = ٩,٤٦٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ كيلومتراً أو ٥٨٧٩,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ ميلاً .

ونلفت انتباه القارئ للمرة الثانية إلى اننا باستعمالنا السنة الضوئية لقياس المسافات فإننا نسلم عملياً بأن الزمن أصبح بعداً وأن الوحدات الزمنية أصبحت قياساً للفضاء .

الأثير :

لم تكد تظهر البراهين العديدة التي تدلّ على أن للضوء سرعة محدودة ، حتى بدأ العلماء يفكرون في الوسط الذي ينقل موجات الضوء .

والضوء أيها القارئ ينتقل بموجات مدروسة معروفة عند الفيزيائيين ، كما أن الصوت ينتقل بموجات . وأظنك لا تزال تذكر شيئاً من هذا القبيل مما درسته من الفيزياء في المدرسة ، هذا إذا كنت لا تزال تذكر أنك كنت في مدرسة .

ولنعد إلى أمثلة تلك الأيام ، إذ يبدو لي أنها أبسط الأمثلة . إذا رميت بحجر على صفحة ماء راكد فإنك ترى الماء يرتفع وينخفض على شكل دوائر تبدأ من الموقع الذي رميت بالحجر فيه وتتسع شيئاً فشيئاً ثم تتلاشى تدريجياً . هذه الارتفاعات والانخفاضات نسميها موجات مائية في حالة الماء الراكد الذي وقع الحجر فيه .

وهناك موجات مماثلة تحدث في الهواء فتنقل الصوت الذي تحدثنا عنه فيما سبق ، فتنشره من مصدره إلى جميع الجهات وتخف كلما بعدت حتى تتلاشى كما هو الحال في الموجات المائية . ومن المعروف علمياً أن الصوت لا ينتقل في الفراغ الخالي من الهواء ، ولهذا فإن إحدى المشاكل الكثيرة العدد التي ستعترض المسافرين إلى القمر أنهم إذا نزلوا على سطحه

فلن يكون في استطاعتهم أن يتحدثوا إلى بعضهم البعض كما نتحدث نحن على سطح الكرة الأرضية ، وذلك لعدم وجود هواء على سطح القمر ينقل أصواتهم بتموجاته . ولهذا يجب أن يجدوا وسيلة أخرى للتفاهم .

ولكن الضوء ينتقل الينا من مصادره ، لا على سطح الأرض فحسب ، بل يأتينا من نجوم بعيدة جداً ، لا وسط مائي أو هوائي يصلنا بها .

ففي أي وسط يسير ؟ وما هو الشيء الذي يحمل موجاته ؟

كان لزاماً على العلماء أن يفسروا هذه الظاهرة . والتفسير المنطقي لحالة كهذه هو أن يفترضوا وجود شيء ينقل الموجات الضوئية ؟ وسموه « الأثير » . فالأثير في الأصل هو الشيء الذي ينقل الضوء في أرجاء الكون . ولكن العلماء بدأوا يسبغون عليه صفات تتفق مع نوع العمل الذي يقوم به . فقالوا إنه يملأ الكون كله ، ويتخلل الأجسام المادية الأخرى وتسبح فيه الكواكب والنجوم والمجرات ، وفيه من صفات المواد الصلبة من حيث انتقال أشعة الضوء فيه وتذبذبها ، وفيه من صفات المواد السائلة من حيث تسبح فيه الأجرام السماوية ... وهكذا إلى آخر ما يمكن أن يتحدث عنه العلماء من الصفات ، والعلماء والحمد لله لا يتركون أمراً دون أن يحشروا أنفسهم فيه .

ولم يكونوا يعلمون أنهم بنظرية الأثير هذه كانوا يعبدون الطريق التي ستؤدي إلى ميلاد النظرية النسبية .

وإذا قلنا إن الأرض تسبح في بحر لجيّ من الأثير ، كان معنى هذا الكلام أنها تخلق تياراً أثيرياً أو ريحاً أثيرية على جانبيها . وإذا كنا لا نحس بهذا التيار أو بهذه الريح ، فما ذلك إلا لتبلد احساسنا تجاه الأثير اللطيف جداً الذي يخترق اجسامنا دون أن نشعر . هكذا فلتكن اللطافة وإلا فلا ... ومثلنا في ذلك مثل الذي يركب باخرة ضخمة تمخر بها عباب البحر . إنه يخال نفسه ثابتاً على ظهر الباخرة وهي واقفة لا تتحرك ، ولا يدري في أي اتجاه تسير . ولكنه إذا أدلى بعصا لامس

الماء فسيرى عندئذ تياراً من الماء يجري على جانبي العصا إلى الجهة المعاكسة لاتجاه الباخرة وسيعرف عندئذ إلى أي جهة يسير ، وستكون سرعة التيار على جانبي العصا مساوية لسرعة الباخرة .

وبالمثل ، فإذا كانت الارض تمخر عباب الأثير فسينشأ تيار متجه عكس اتجاه سيرها ؛ وستكون سرعة هذا التيار أو هذه الريح الاثيرية ١٨,٥ ميلاً — ثانية . أي بمقدار سرعة الأرض في مدارها حول الشمس .

فهل لهذا من اثبات ؟

يجب أن يكون هناك اثبات لوجود ذلك الشيء الذي ينقل الينا موجات الضوء خلال الفراغ الفلكي الشاسع والذي يكاد يكون تعليل وجوده المنطقي من البداهة بمكان .

وهنا جاء اختبار ميكلسون ومورلي **Michelson and Morley** ، ذلك الاختبار اللعين الذي فتح الباب على مصراعيه للنظرية النسبية وقال لها تفضلي وادخلي حظيرة العلم .

ما يترتب على وجود الاثير :

لكن ما لنا نتعجل الحديث عن ميكلسون ومورلي واختبارهما ، وعلينا قبل ذلك أن نتريث لحظتين .

ففي اللحظة الأولى نتحدث عن الأثر المنتظر للأثير في التلسكوب .

ومن المفهوم ضمنياً من حديثنا السابق عن الاثير أنه الشيء الوحيد الثابت في هذا الكون ، وبقية الأجسام الفلكية تسبح فيه .

ولنفرض أن لدينا تلسكوباً كبيراً في مرصد ما على سطح الأرض ، ولنوجه عدسته تجاه نجم في الجهة التي تتحرك في اتجاهها الأرض في مدارها حول الشمس . إن أشعة النجم الضوئية التي تسير على شكل موجات في الأثير الساكن ستسقط على عدسة التلسكوب التي تجمعها في البؤرة « ن » في الشكل « ٣ » ١ ، الذي رسم فيه شعاعان فقط للايضاح . والنقطة « ن »

هي نقطة في الفضاء داخل انبوب التلسكوب .

شكل « ٣ »

اشعة الضوء على عدسة التلسكوب بوجود الاثير

لكن بما أن المشاهد والتلسكوب يتحركان إلى اليمين بسرعة ١٩ ميلاً—ثانية فإنهما سيتقدمان في الواقع ليقابلا « ن » أي البؤرة التي ستكون عندئذٍ عند عين المشاهد كما هو ظاهر في الشكل « ٣ » ب ، فيراها بوضوح .

ولنفرض الآن اننا نظرنا في التلسكوب نفسه بعد ستة شهور عندما كان موجهاً للنجم نفسه . إن الكرة الأرضية بعد ستة شهور تكون قد قطعت نصف مدارها حول الشمس ، وتكون سائرة في اتجاه معاكس للاتجاه الذي كانت تسير فيه قبل ستة شهور ، أي أنها عند ذاك تكون سائرة تبتعد عن النجم المذكور بسرعة ١٩ ميلاً—ثانية . ومعنى ذلك أن التلسكوب

والمشاهد يبتعدان بهذه السرعة عن البؤرة « ن » كما هو ظاهر في الشكل « ٣ » ج . وابتعاد البؤرة عن عين المشاهد سوف يظهر له النجم غير واضح وبصورة مشوشة الا إذا عدل بالآلات الأخرى قرب العدسة وبعدهـا عن عينه .

وإذا كان هذا الكلام صحيحاً ، كان معنى هذا أننا إذا عدلنا جهاز تلسكوب وسلطناه على نجم معين بحيث يظهر فيه بوضوح تام ، فإننا لن نستطيع أن نرى النجم بوضوح بعد ستة أشهر بالتلسكوب نفسه إذا لم يعبث به أحد . وهذا تعليل منطقي جداً حسب التفسير السابق .

وقد حاول العلماء جهدهم متابعة هذه الظاهرة ، ولكن دون جدوى .

فأين ضاع التفكير العلمي ؟ وكيف لا نجد النتائج المنطقية العلميـة عملياً ؟ لا أحد يدري .

على أية حال ، فالعلماء ، لا يعجزون ، وهم بارعون في ايجاد تفسيرات علمية لفشلهم العلمي .

فقد فسّر العالم فرزنل **Fresnel** هـذا الفشل بإيجاد نظرية جديدة قال فيها بأن الأثير ينسحب وراء الأجسام الصلبة . وأخذ العلماء تفسيره على أنه التفسير الوحيد لتعليل اختفاء هذه الظاهرة ، فيجب أن يكون هناك أثير ينسحب خلف الأجسام الصلبة .

وهكذا فقد دار بنا العلماء دورة طويلة واعادونا حيث كنا ، فـأين اذنك يا جحا ؟ وما كان أغنانا عن هذا التعب .

* * *

قلت لك أيها القارئ اننا سنتريث لحظتين . ها قد انتهت اللحظة الأولى ووقاك الله من الثانية .

أما الثانية ، فهي أحجية — أو إذا شئت — مسألة حسابية .

لنفرض أننا على شاطئ نهر عريض كالنيل مثلاً ، وصلنا اليه ومعنا نساؤنا وأطفالنا ، وهناك حيث وصلنا متنزه للرجال سنجلس فيه أنا وأنت ،

ومقابلنا على الشاطئ الآخر متنزه للسيدات يبعد عنا ألف متر تماماً لأن عرض النيل في تلك البقعة ألف متر تماماً . وهناك متنزه ثالث على الشاطئ الذي وصلنا اليه يبعد عنا ألف متر تماماً إلى الجنوب مخصص للأطفال ، ولدينا قارب بخاري يسير بسرعة ألف متر في الدقيقة في الماء الراكد . وعلينا أن نوصل السيدات بالقارب إلى متنزههن ، ونعود فنأخذ الأطفال ونوصلهم بالقارب إلى متنزههم ، ثم نعود فنجلس وحدنا في متنزه الرجال متنفسين الصعداء لأننا تخلصنا من هؤلاء ومن هؤلاء واستراح دماغنا من وظيفة السائق التي يشتغلها كل رجل في مثل هذه الظروف .

انت تميل بالطبع — ولست وحدك فقط — أن تتخلص من زوجتك أولاً ، فتدعي أنك بداعي الاحترام للسيدات ستبدأ بإيصالهن بالقارب البخاري ، وستعود حالاً لأخذ الاطفال وإيصالهم . ولكن ابنتك الذكية — أيها السائق النشيط — تعترض على هذا قائلة « إن عليك أن توصل الأطفال أولاً لأن رحلة القارب إلى متنزه الاطفال في الذهاب عكس تيار النهر وفي الاياب مع تيار النهر سيستغرق وقتاً أقل من الوقت الذي سيستغرقه القارب في الذهاب والاياب إلى متنزه السيدات ومنه ؛ لأنك في هذه الحالة ستقطع التيار مجانبة ، والمقاومة الجانبية للقارب ستكون في الذهاب والاياب . فعليك يا أبت الحبيب أن تبدأ بإيصالنا نحن الأطفال أولاً . ثم تعود للسيدات ، لأن رحلتهن أطول من رحلتنا . »

إنك ستوافق على رأيها في الحساب دون أن تبحث المسألة طبعاً . وسوف لا تدري إذا كان حسابها صحيحاً أم انها تخدعك . والسبب في ذلك هو أنك واثق من شيء واحد فقط في علم الحساب ألا وهو ضعف معلوماتك فيه ، وتعرف أن هذه المعلومات قد تقلصت وانكمشت إلى الجمع والطرح فقط : جمع الديون وطرح دخلك منها . حتى الكثير منا لا يتقن هذين الفرعين من الحساب ومنهم كاتب هذه السطور .

شكل ٥ ٤ ٥

المتنزهات على شاطئ النيل

دعنا نبحث المسألة معاً . ولنبدأ بإيجاد الوقت الذي يستغرقه القارب في الذهاب إلى متنزه الأطفال والإياب منه . إنه في الذهاب يسير عكس تيار النهر أي أنه سيجد مقاومة ؛ ولكنه في الاياب يسير مع تيار النهر فيجد مساعدة . فهل سيكون الوقت الذي سيستغرقه في الذهاب والاياب في هذه الحالة كالوقت الذي يستغرقه فيما لو كان الماء راكداً ؟

لنفرض أن سرعة ماء النهر الجاري هي مئة متر في الدقيقة ، وقد قلنا سابقاً إن سرعة القارب البخاري ١٠٠٠ متر—دقيقة .

فإذا كان الماء راكداً فإن القارب سيذهب من متنزه الرجال إلى متنزه الأطفال ويعود في مدة دقيقتين تماماً ؛ دقيقة للذهاب ودقيقة للإياب .

لكن في حالتنا هذه ستكون سرعته في الذهاب هي سرعته الأصلية في الماء الراكد مطروحاً منها سرعة تيار النهر ١٠٠٠ — ١٠٠ = ٩٠٠ متراً — دقيقة .

والوقت الذي يستغرقه يساوي المسافة مقسومة على السرعة أي $\frac{١٠٠٠}{٩٠٠}$ من الدقيقة .

وستكون سرعته في العودة هي مجموع سرعته الاصلية مع سرعة تيار

النهر ، أي ١٠٠٠ + ١٠٠ = ١١٠٠ متراً—دقيقة .

والوقت الذي يستغرقه في العودة يساوي $\frac{١٠٠٠}{١١٠٠}$ من الدقيقة .

والزمن الذي يستغرقه في الذهاب والاياب : $\frac{١٠٠٠}{٩٠٠} + \frac{١٠٠٠}{١١٠٠} = \frac{٢٠٠}{٩٩}$

= ٢,٠٢ دقيقة .

ومعدل الرحلة الواحدة سيكون $\frac{٢,٠٢}{٢} =$ ١,٠١

أي أنه يتأخر بمعدل $\frac{١}{١٠٠}$ عما لو كان الماء راكداً .

هل تعلم أيها القارئ أننا بمسألتنا هذه قد قمنا بحلّ مسألة حسابية لو تناولها علماء الرياضيات لوضعوا لنا رموزاً لا نفهم منها شيئاً ، ولوصلوا بعد ذلك إلى هذه النتيجة التي وصلنا اليها بكل بساطة .

ولكن لماذا لا نلجأ إلى الرموز أيضاً ونقلدهم ، فما دمنا قد حللنا المسألة فستكون الرموز بسيطة بالنسبة لنا الآن .

لنفرض أن « ز » هي الزمن الذي يستغرقه القارب في الذهاب والاياب ، وأن « م » المسافة ، « ق » سرعة القارب ، « ن » سرعة النهر .

فسيكون الزمن الذي يستغرقه في الذهاب $\frac{\text{م}}{\text{ق}-\text{ن}}$

والزمن الذي يستغرقه في الاياب $\frac{\text{م}}{\text{ق}+\text{ن}}$

وستكون لدينا المعادلة التالية :

$$\text{ز} = \frac{\text{م}}{\text{ق}-\text{ن}} + \frac{\text{م}}{\text{ق}+\text{ن}}$$

$$= \frac{٢\,\text{م}\,\text{ق}}{(\text{ق}+\text{ن})(\text{ق}-\text{ن})}$$

$$= \frac{٢\,\text{م}\,\text{ق}}{\text{ق}^٢-\text{ن}^٢}$$

$$= \frac{٢\,\text{م}}{\text{ق}} \times \frac{\text{ق}^٢}{\text{ق}^٢-\text{ن}^٢}$$

$$= \frac{٢\,\text{م}}{\text{ق}} \times \frac{١}{١-\frac{\text{ن}^٢}{\text{ق}^٢}}$$

$$\text{ز} = \frac{\text{م}}{\text{ق}-\text{ن}} + \frac{\text{م}}{\text{ق}}$$

وقد تبدو هذه الرموز مملة ، ولكننا قد وصلنا في الواقع إلى قانون يقول بأن الزمن الذي يستغرقه القارب (أو أي شيء آخر سائر في تيار) عكس التيار ومعه في قطع مسافة معينة ذهاباً واياباً يساوي الزمن الذي يستغرقه في قطع هذه المسافة ذهاباً وإياباً مع عدم وجود أي تيار $\left(\frac{٢\,\text{م}}{\text{ق}}\right)$ مضروباً في عامل معيّن له علاقة بمربع سرعة التيار ومربع سرعة القارب وهو :

$$\frac{١}{١-\frac{\text{ن}^٢}{\text{ق}^٢}}$$

ولنكرر هذا الكلام فنقول ، إن جسماً معيناً إذا سار مسافة معينة في الذهاب والاياب يستغرق وقتاً يساوي $\frac{٢\,\text{م}}{\text{ق}}$ — إذا كانت المسافة (م) وسرعة الجسم (ق) .

وإذا كان هذا الجسم يقطع المسافة المذكورة في تيار أو ريح أو ما شاكل ذلك وسرعة التيار أو الريح « ن » ، وكان التيار يساعد الجسم في نصف رحلته ذهاباً ويعاكسه فيها إياباً ، فإن الوقت الذي يستغرقه يصبح :

$$\frac{\text{٢م}}{\text{ع}} \times \frac{١}{١ - \frac{\text{ن}^٢}{\text{ع}^٢}}$$

أي أن عامل التأخير في الذهاب والاياب يساوي $\frac{١}{١ - \frac{\text{ن}^٢}{\text{ع}^٢}}$

إنني لست مغرماً بالرياضيات أيها القارئ ، ولا أحب المسائل الحسابية لا كثيراً ولا قليلاً ، فإذا رأيت أنني أؤكد على عامل تأخير القارب وأكرره بأشكال مختلفة فليس ذلك حباً في الرياضيات ، وإنما هي خطوة للتدرج بنا نحو قوانين آينشتاين المماثلة كما سنرى فيما يلي .

خلاصة القول ، اننا عرفنا عامل التأخير إذا كان القارب يسير مع التيار وعكسه . فما هو عامل التأخير إذا كان القارب يسير مجانبة ، أي يقطع النهر عرضاً . إن هذه تحتاج إلى حساب أكثر مما استعملنا في السابق وتحتاج إلى ادخال حساب المثلثات في الموضوع . ويقول الرياضيون أن عامل التأخير في هذه الحالة :

$$= \sqrt{\frac{١}{١ - \frac{\text{ن}^٢}{\text{ع}^٢}}}$$

أي الجذر التربيعي للعامل السابق .

ونحن هنا بين أمرين ، إما أن نصدقهم أو أن نخوض غمار حساب المثلثات . وإني أفضل الخيار الأول ، وأترك لهواة الرياضيات الخيار الثاني.

إني اصدق الرياضيين لأنهم يتكلمون بالأرقام ، وأشعر معهم عندما أجد أنهم لا يستطيعون أن يتحدثوا إلاّ بالصدق ، هذا الصدق الذي تمليه عليهم طبيعة عملهم فتكبت فيهم نزعة الكذب ، بينما يتمتع بها معظم البشر . فالرياضيات صادقة دقيقة ليس فيها للكذب مجال ، ولا تعرف شيئاً من اللف والدوران . وقد يكون هذا هو السبب الذي لا تجد لأجله إنساناً عادياً يهوى الرياضيات أو يمسك في أوقات فراغه كتاب جبر أو كتاب حساب المثلثات يتسلى بقراءته ، بينما تجد أن كلّ إنسان قد قرأ على الأقل رواية واحدة لأرسين لوبين .

لكن مالنا ولهذا الكلام . ولنرجع إلى المتنزه الذي كنا نجلس فيه على شاطئ النيل . لقد قالت لك ابنتك الذكية أن الوقت الذي ستصرفه في نقل الاطفال إلى متنزههم عكس تيار النهر في الذهاب ومعه في الاياب سيكون أقل من الوقت الذي ستصرفه في نقل السيدات إلى الضفة الأخرى وتيار النهر بجانبك في الذهاب والاياب . وقد بحثنا معاً مدى صحة كلامها وتبين لنا أنّ عامل التأخير في الحالة الثانية أقل منه في الحالة الأولى . وعلى ذلك تكون ابنتك قد خدعتك واستغلت جهلك في الحساب . فإياك أن تكون قد أطعتها بنقل الأطفال أولاً ، فإنك أن فعلت ذلك ستتأخر ثانيتين في الذهاب والاياب بينما إذا نقلت السيدات أولاً فانك ستتاخر ثانية واحدة في الذهاب والاياب . وإني حريص جداً على وقتك أيها القارئ ، وفي سبيل الثانية صرفت معك بضع مئات من الثواني !

اختبار ميكلسون ومورلي

عند كتابة هذا الموضوع لاحظت أن اسم الاستاذ ميكلسون يبتدئ بالحرف « م » واسم الاستاذ مورلي كذلك . وعلى ذلك يمكن أن نسمي الاختبار « اختبار م م » مجاراة للطراز الحديث في تسمية الامور المثيرة . فنحن نعرف ب ب وهي تعني بريجيت باردو ونعرف « م م » وتعني مارلين مونرو . ولا أعرف شخصياً أمثلة أخرى لأضربها لك ، لكني أقدم لك هذا الاختبار اللعين الخبيث المثير وكل رجائي ان لا تحسبه اختبار مارلين مونرو ما دام يبتدئ بالحرفين نفسهما .

على أية حال ، فستدرك الفرق عندما تفهم الاختبار ، وستعلم بأنه أثار عقول العلماء وأفكارهم وحيّرهم بما لم تستطع أن تقوم به ب. ب ولا م. م في عقول المراهقين .

والفكرة التي يقوم عليها الاختبار بسيطة جداً . وقد قلنا فيما سبق أن الاختبار نفسه قام لاثبات وجود الأثير . فالريح الأثيرية التي تنشأ على جانبي الأرض أثناء اختراقها الاثير أمر يكاد يكون مفروغاً منه في العلم الطبيعي (الفيزياء) ويكاد لا يكون بحاجة إلى جدل . ولكن اختباراً يؤكد وجوده سيزيد من توطيد أركان علم الفيزياء الموطد الاركان بطبيعته .

وأظن أنك لا تزال جالساً ايها القارئ في المتنزه الذي وضعناك فيه قبل بضعة صفحات ، وقد أخذت تفكر في ارجاع الاطفال والسيدات ، وأي الرحلتين سوف تستغرق وقتاً طول . وأظنك عرفت الآن أن ذهابك عكس التيار لاحضار الأطفال والعودة بهم مع التيار سيستغرق وقتاً أكثر بثانية (في مثلنا السابق الذكر) من ذهابك لإحضار السيدات والعودة بهن وأنت تسير في الحالتين مجانباً للتيار .

فهل يمكن أن نصنع جهازاً يسير فيه الضوء مرّة مع تيار الأثير ويعود عكسه ، ومرّة أخرى يمشي مجانبة لتيار الأثير في الذهاب والاياب . إننا إذا فعلنا ذلك استطعنا أن ندرك الفرق بين سرعة الضوء في الحالتين ، وعندئذ يثبت لنا وجود الأثير الذي لا شك في وجوده حتى الآن .

وهذا هو ما يفعله اختبار ميكلسون ومورلي .

لقد فكّر الاستاذ ميكلسون أول الأمر أن يقيس سرعة الضوء بطريقة فيزو المارة الذكر ، بحيث يقيس سرعته مرّة مع تيار الأثير ومرّة أخرى عكس التيار ومرّة ثالثة مجانباً للتيار . وهذه هي في الواقع أسهل الطرق لو كان في الامكان إجراؤها . ولو تمكنا من ذلك فإننا نتوقع أن نجد سرعة الضوء في اتجاه الريح الاثيرية (على فرض أن سرعة الضوء الأصلية ١٨٦٠٠٠ ميل-ثانية) :

١٨٦٠٠٠ + ١٨ = ١٨٦٠١٨ ميلاً-ثانية .

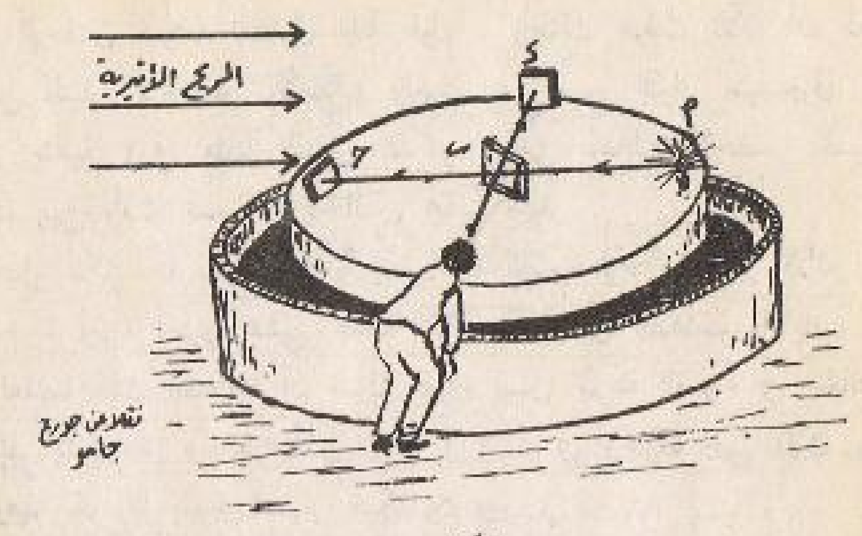
وستكون سرعة الضوء ضد الريح الأثيرية :

١٨٦٠٠٠ — ١٨ = ١٨٥٩٨٢ ميلاً-ثانية .

لكن هل كان هنالك اجهزة تقيس سرعة الضوء بهذه الدقة ، وتظهر لنا فرق ثلاثين ميلاً في مئة وستة وثمانين ألف ميل ؟ إنها لم تكن موجودة إذن فما العمل ؟

إن أحسن طريقة لاكتشاف هذا الفرق هي أن نأتي بشعاعين مختلفان سرعة ونجعلهما يتقابلان في نقطة ولننظر بأعيننا لنرى النتيجة الحتمية لتقابل

هذين الشعاعين وهذا هو أساس الاختبار .



شكل « ٥ »

اختبار ميكلسون مورلي

ويتكون الجهاز من مائدة كبيرة من الصخر مستوية السطح يتوسطها لوح زجاجي «ب» طلي بغشاء رقيق من الفضة نصف شفاف بحيث إذا ما وقعت اشعة الضوء على اللوح انعكس نصفها وسمح للنصف الآخر بالمرور من خلال اللوح إلى الجهة الأخرى . ويوجد في نقطة «ا» مصدر يرسل أشعة الضوء ، وفي نقطة «ح» ، ونقطة «د» وضعت مرآتان على ابعاد متساوية تماماً من اللوح الزجاجي «ب» بحيث إذا ما صدر شعاع من «ا» تجاه اللوح الزجاجي فإنه يعكس نصفه إلى المرآة «د» ويسمح للنصف الآخر بالمرور منه إلى المرآة «ح» . أما نصف الشعاع الذي وصل إلى «د» فإنه ينعكس عن سطح المرآة ويعود إلى اللوح الزجاجي مرة أخرى فينقسم إلى قسمين قسم ينعكس عن «ب» ويذهب إلى «ا» ، والقسم الآخر يخترق اللوح الزجاجي «ب» ذاهباً الى عين المشاهد . وكذلك فقد قلنا بأن الشعاع الصادر من «ا» ينقسم إلى قسمين

على سطح اللوح الزجاجي «ب» ، وتحدثنا عن القسم الذي ينعكس من «ب» ويذهب إلى «د» . أما القسم الآخر فإنه يمر خلال اللوح الزجاجي «ب» ويذهب إلى المرآة «ح» حيث ينعكس عليها ويعود إلى اللوح الزجاجي مرّة أخرى فينقسم إلى قسمين : قسم يخترق اللوح ويذهب الى «ا» والقسم الآخر ينعكس ذاهباً الى عين المشاهد . وهكذا ..

والمقصود من وراء هذا الاختبار أن نكوّن شعاعين صادرين من مصدر واحد ، كلٌّ منهما يقطع الآخر عمودياً عليه . ولما كان الجهاز كله قد وضع بحيث تكون الريح الأثيرية سائرة باتجاه «ا ح» كما هو مبين في «شكل ٥» بالأسهم ، كان معنى ذلك أن الأشعة من «ا» الى «ح» تذهب عكس الأثير وتعود من «ح» إلى «ا» مع الأثير ، وأن الشعاع السائر من «د» إلى عين المشاهد سيقطع الريح الأثيرية مجانبة في ذهابه وايابه .

إن الاختبار كلّه يمثل قصة القارب البخاري الذي تنزهنا فيه مع الأطفال والسيدات .

وبما أن عامل التأخير الذي يحدث في اتجاه «ا ح» هو أكثر من التأخير الذي يحدث في اتجاه د ب عين المشاهد ، فيجب أن يكون هناك اختلاف في سرعة الضوء بين الحالتين . ولذلك فإن الشعاعين المتعامدين عندما يتقابلان في «ب» وتنعكس أقسام منهما إلى عين المشاهد ؛ فستظهر للمشاهد ظاهرة معروفة في علم الضوء اسمها التداخل **Interference** . وتكون نتيجتها بريقاً في جهات وهبوطاً في شدة لمعان الضوء يقارب الظلمة في جهات أخرى .

وتقوم ظاهرة التداخل على أساس أن للضوء موجات ، وموجات شعاعين مختلفين قد تشد ازر بعضها البعض إذا اتحدت قمة موجة أحد الشعاعين مع قمة الأخرى ومنخفض الأولى مع منخفض الثانية ؛ فسيزداد عندئذ لمعان الضوء في عين المشاهد ، ويسمى في هذه الحالة التداخل البنائي

(ا) تداخل بنائي : ازدياد اللمعان

(ب) تداخل جزئي : قلة اللمعان

(ج) تداخل هدمي : ظلام

عن كوهان

شكل « ٦٥ »

التداخل الضوئي

شكل « ٦٥ » « أ » . وقد لا يحدث انسجام في سير الأشعة فلا تتفق منخفضات الموجات ومرتفعاتها مع بعضها البعض شكل « ٦٥ » « ب » فيقل اللمعان في عين الرائي ويسمى عندئذ التداخل الجزئي . وقد يحدث أن تتعاكس الموجات فياتي مرتفع موجة مع منخفض أخرى فيتلاشى الأثر الضوئي ويشاهد الرائي بقعة مظلمة شكل « ٦٥ » « حـ » وتسمى هذه الحالة بالتداخل الهدمي .

ولا أعتقد أن الاستاذين ميكلسون ومورلي عندما قاما بهذه التجربة كانا يشكان في وجود الأثير وفي النتيجة لهـذا الاختبار وظهور التداخل على اللوح الزجاجي أمـام أعينهما ، إنمـا كانا يبغيان أن يقدما للعالم اثباتاً عملياً على وجود الأثير الذي لا شك في وجوده نظرياً .

وقد قاما بإجراء هذا الاختبار ونظرا إلى اللوح الزجاجي ، واذا بالضوء يسير أمام أعينهما بلمعانه العادي ! لم يشتد في ناحية ولم تشبه شائبة من الظلمة في ناحية أخرى ، فغيرا اتجاه الجهاز ، ثم قاما بإجراء الاختبار في

أوقات مختلفة في الليل وفي النهار وفي الصيف وفي الشتاء وحاولا جهدهما أن يخرجا بنتيجة ايجابية . وقام بعدهما علماء آخرون في بقاع مختلفة من الكرة الأرضية وفي اتجاهات مختلفة وأوقات مختلفة . ولكن نتيجة التداخل لم تظهر لأحـد ، وذهبت جهود ميكلسون ومورلي والعلماء الآخرين عبثاً .

ماذا حصل للعالم الثابت الأركان ؟ وهل هناك أثير حقاً ؟

الرقع البالية :

كان هذا الاختبار في الواقع صدمة شديدة للفيزياء الكلاسيكية هزت كيانها هزاً عنيفاً وجعلت قلعتها تتهاوى على الأرض حطاماً . فأخذ العلماء يرممون ، وهل ينفع الترميم ؟

فقال بعضهم إن الأرض أثناء سيرها خلال الأثير تسحبه وراءهـا وحواليها . وعلى ذلك فإن الذين يعيشون على سطحها لن يشعروا بالريح الأثيرية . وقال آخرون بأن الأرض يجب أن تكون ثابتة في موضعها من الأثير ، أي أنهم عادوا إلى المفهوم القديم ، بأن الارض هي المركز ، والنجوم والكواكب الأخرى والمجرات تدور حولها ..!!

وقالت جماعة ثالثة بأن سرعة الضوء دائماً ثابتة بالنسبة للمصدر الذي يبعثه ، وعلى ذلك فسرعته دائماً بأي حال من الأحوال هي ١٨٦,٠٠٠ ميلاً/ثانية . وإذا كان الأمر كذلك فإن جهاز ميكلسون لن يكتشف شيئاً لأن السرعة في مسيره مع الريح الاثيرية ذهاباً وإياباً وفي مسيره مجانبة ستكون واحدة . ولكن هذا الكلام يعني ان سرعة الضوء متغيرة بالنسبة للأثير ، وتترتب عليه أمور أخرى لا يصدقها العقل .

إلاّ أن الترميم الذي صادف قبولاً وكان له وقع حسن عند العلماء هو ما رآه فتزجرالد **Fitzgerald** . فقد قـال ان كل الأجسام تنكمش في اتجاه حركتها خلال الأثير . فإذا كانت كرة المطاط عند اصطدامهـا

بالحائط تنبعج محل الاصطدام ، أي تنكمش عند مقاومة الحائط لها ، فلماذا لا تنكمش الأجسام اثناء تحركها خلال الأثير للمقاومة التي تجدها منه ؟ وقد سميت هذه الظاهرة « انكماش فيتزجرالد » . وهي في الواقع أحسن تفسير ظهر حتى ذلك الوقت لفشل اختبار « ميكلسون مورلي » .
وإذا ألقينا نظرة أخرى على شكل « ٥ » وتفحصنا الجهاز وتمعنا في الخطين اللذين يسير فيهما الضوء من ا إلى ج ومن د إلى عين المشاهد ، فسنرى أن الخط الأول ا ج يسير فيه الضوء مع الريح الاثيرية وعكسها ، أما د ــ عين المشاهد فيسير فيه الضوء مجانباً للريح الاثيرية . ونحن نعرف الآن أن عامل التأخير في الخط ا ج هو أكبر من عامل التأخير في الخط د ــ عين المشاهد .

والخط ا ج كما هو مفهوم ضمناً يدل على اتجاه حركة الأرض في الأثير . فإذا كان هناك تقلص في الكرة الارضية وفي المائدة الموضوع عليها الجهاز باتجاه هذا الخط وبمقدار الفرق بين عاملي التأخير فلن نكتشف أي أثر لتداخل الضوء ، وسيكون انكماش فتزجرالد تفسيراً كافياً لفشل اختبار ميكلسون مورلي . فإن قصر المسافة ا ج بهذا الانكماش سيعوض عن فرق التأخير بين العاملين . وإذا أدرنا الجهاز بمقدار ٩٠° فسوف نحصل على النتيجة نفسها ، فالجهة التي تنتظر تباطؤ سرعة الضوء فيها ، هي الجهة التي تنكمش فيها مائدة الجهاز وينكمش فيها كل شيء على الأرض وتنكمش الأرض نفسها .

لا تؤاخذني أيها القارئ إذا بدا في كلامي هذا بعض الصعوبة ، فهو في الواقع ليس صعباً إذا أمعنت فيه قليلاً وأجهدت نفسك . ونحن الآن بحاجة إلى جهدك وجهدي أيضاً لأننا نجتاز البرزخ الفاصل بين الفيزياء الكلاسيكية والنظرية النسبية ، واجتياز البرازخ والمضيقات صعب دائماً .
وخلاصة القول ان المائدة المقام عليها الجهاز إذا كانت تنكمش بمقدار

$$\sqrt{\frac{٢}{١ - \frac{\text{ا}^{٢}}{\text{س}^{٢}}}}$$

(حيث «ا» سرعة الارض في الأثير و «س» سرعة الضوء)

فإننا لا نلاحظ أثراً ايجابياً لاختبار ميكلسون مورلي .

وأظن أن هذه المعادلة ليست غريبة على القارئ ، فقد مرّت علينا حينما كنا نركب القارب البخاري ونوصل السيدات إلى المتنزه .

على أية حال ، فان إدخال نظرية جديدة إلى حظيرة العلم التجريبي لتفسير فشل اختبار من الاختبارات ، أمر لا يستسيغه العلماء كثيراً ، لا سيما إذا لم يكن لهذه النظرية أيّ اثبات . إن الترميم في قلعة الفيزياء الكلاسيكية أصبح مفضوحاً جداً ، ولهذا أصبح العلم ينتظر بناء قلعة جديدة متينة غير تلك البالية .

وهنا جاء شاب في الخامسة والعشرين من عمره يحمل الفأس والمعول فحطم القلعة القديمة البالية وبنى محلّها قلعة راسية البنيان وطيدة الأركان أما الشاب فاسمه البرت آينشتاين ، واما القلعة الجديدة فاسمها النظرية النسبية .

النظرية النسبية الخاصة

بداية عصر جديد :

في عام ١٩٠٤ نشر آينشتاين النظرية النسبية الخاصة ثم اتبعها عام ١٩١٦ بالنظرية النسبية العامة ، فكانت هاتان النظريتان بداية العصر الذري الذي نعيش فيه الآن . ومن الخطأ في الواقع أن نقول إنهما نظريتان لأنهما نظرية واحدة . القسم الخاص منها يبحث في الاجسام أو الانظمة التي تتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة للمشاهد . وهذه تسير في خطوط مستقيمة أي أنها تبحث في حالة خاصة من حالات الأجسام . أما القسم العام من النظرية النسبية فهو يبحث في الأجسام التي تتسارع بالنسبة للمشاهد . وبما أن الأجسام الفلكية في هذا الكون تسير في مدارات منحنية وليس في خطوط مستقيمة ؛ فهي إذن تغيّر اتجاه سيرها باستمرار ، وتغيير اتجاه السير هو نوع من أنواع التسارع . وبما ان القسم العام من النظرية النسبية يبحث هذه الأمور ، لهذا فهو أعم وأشمل ، ولهذا سمّي بالنظرية النسبية العامة .

لقد حاول آينشتاين أن يأتي بتفسير لفشل اختبار ميكلسون مورلي ، ولكنه بتفسيره هذا ؛ جاء بمفاهيم غريبة بالنسبة للفيزياء الكلاسيكية ، مفاهيم تنسف الفيزياء الكلاسيكية من أساسها ؛ ولا تكتفي بتفسير اختبار ميكلسون مورلي وانما تفسر ظواهر أخرى عديدة من الكون ، بحيث تشكل نظرية صلبة البنيان متماسكة الجوانب .

وكانت هذه النظرية قوية بشكل غريب ، وعلى الرغم من غرابة

المفاهيم التي ادخلتها إلى حظيرة العلم ، فقد كانت تثبت صحتها كلما دخلت في تجربة . وقد علمتنا أن العالم الذي نعيش فيه هو أغرب مما يبدو لنا من خلال الفيزياء الكلاسيكية ، وأن البديهيات التي لم تكن تحتاج إلى اثبات في مفاهيمنا القديمة هي موضع شك ، بل قد يكون التسليم بها خطأ من الاخطاء . وعدا عن ذلك كلّه فقد كانت لها نتائج فلسفية بعيدة الأثر . فقد نزعت المفاهيم المطلقة ووضعت محلّها المفاهيم النسبية ، ونزعت الاستقامة من هذا الكون وعوضت عنها بالخطوط المتحدبة المنحنية ، وخلطت المكان بالزمان ... بهذا وبغيره انتزعت آخر ما تبقى للإنسان من مفاهيم الثبات ، وتركت نفوس العلماء على الأقل وفيها الكثير من القلق .

اننا لن نتطرق إلى النواحي الفلسفية في كتابنا هذا ، فالغرض من الكتاب هو تبسيطها من الناحية العلمية فقط . وإذا كان لنا بعض التعليقات بين آونة وأخرى فالقصد منها هو الدعابة ؛ لكي يتابع القارئ نشاطه في قراءة الكتاب . وإذا شاء أن يتخذ من ذلك مغزىً فلسفياً فالأمر راجع اليه .

ولقد عاد آينشتاين القهقرى إلى ما قبل ظهور نظرية الأثير ، حينما كان العلماء الفيزيائيون يعتقدون بالفضاء الفارغ ، واستبعد الأثير من حساباته كليّاً . ومع أن افتراض وجود الأثير كان يحلّ مشاكل فيزيائية عديدة للعلم ، الاّ أن آينشتاين قدم نظرية تحلّ كلّ هذه المشاكل حلولاً مقنعة جداً دون ادخال الأثير في الحساب .

وتقوم النظرية النسبية على فرضين فقط ، يطلب منا آينشتاين أن نسلّم بصحتهما دون أن يقدم دليلاً على ذلك . وهي في هذا كغيرها من فروع العلوم التي تطلب منا أن نسلّم لها ببديهيات لا تحتاج إلى اثبات . ألا تعتبر الهندسة المستوية مثلاً أن المستقيم هو أقصر خط يصل بين نقطتين . وتقول بأن هذه الفرضية بديهية ؟ إن لكل فرع من العلوم بديهياته الخاصة به . وللنظرية النسبية بديهتان أو فرضان .

ونحن إذا سلمنا بصحة هذين الفرضين (أو البديهيتين) فإن النظرية النسبية ستتحفنا بقوانين للكون وتفسيرات لظواهره ستكون مدهشة في صدقها ، معبرة عن الواقع الفيزيائي الذي نعيش فيه بشكل تعجز الفيزياء الكلاسيكية عن التعبير عنه . وإذا ما شئنا مرّة من المرات ، بذكائنا الخارق أن نجد معضلة من المعضلات أو مشكلة من المشاكل نبتغي من ورائها إثبات خطأ النظرية وإظهار بطلانها ووضعنا هذه المعضلة أو المشكلة موضع البحث والاختبار الدقيق فسنجد في نهاية الأمر أننا قدمنا اثباتاً جديداً على صحتها لأن النتائج التي سنحصل عليها ستنطبق على أصولها . ولن يكون باستطاعتنا أن نجد مشكلة تطعن فيها أو تغمز في صحتها .

وهذان الفرضان اللذان يطلبهما منا آينشتاين هما :

(١) حول الأثير .

(٢) سرعة الضوء .

الأثير في النسبية

إن قوانين النظرية النسبية ومفاهيمها كلّها قائمة على تجاهل وجـود الأثير تجاهلاً كلياً . فأثره في الفيزياء الكونية يساوي صفراً . ويقول منطوق هذا الفرض بأن الأثير لا يمكن اكتشافه . ويظهر أن السيد آينشتاين متحفظ جداً ، فهو لا يؤكد عدم وجوده ، وإنما يبني كلّ النظرية النسبية وكأن الأثير لا وجود له ، فليس في نتائجها ولا في مفاهيمها ما له بوجود الأثير صلة . وظواهر الكون سائرة في مجراها الطبيعي كما تفسرهـا النظرية النسبية سواء وجد الاثير أم لم يوجد . ويلوح لي أن وجهة نظره هذه هي أشد أنواع الاحتقار للأثير بصورة مهذبة مؤدبة . إنه يريد أن ينتقم من ذلك الذي ارتكز عليه العلماء أجيالاً متعاقبة فإذا بـه سراب خداع .

وإذا تجاهلنا وجود الأثير ونفينا أثره في الفيزياء الكونية ، برزت لنا نتائج جديدة .

فمن المفهوم في الفيزياء الكلاسيكية أن الأثير يملأ الكون وتسبح فيه الافلاك . ولما كان الامر كذلك ، فإننا ندرك — على الأقل اداركاً باطنياً وإن لم نذكر ذلك — أن الأثير هو الشيء الثابت ثبوتاً مطلقاً في الكون .

وعلى ذلك ، فإن حركة الاجرام السماوية يمكن قياسها — بشكل من الاشكال — بالنسبة للأثير الثابت .

أما إذا نفينا وجود أثر الأثير — أو ليسمح لي القارئ بعد الآن أن أذكر الأثير نفسه عندما أقصد أثره — فأقول : أما إذا نفينا وجود الأثير ، أي نفينا وجود المكان المطلق ، فلن يتبقى لنـا إلاّ المكان النسبي والحركة النسبية .

هل ركبت القطار مرة ، أيها القارئ ؛ وكان واقفاً في المحطة وكان يقف على الخط المجاور له قطار آخر ، وكنت تنظر اليه من النافذة ؟ (ولا اريد أن أذكر ما الذي استرعى انتباهك في القطار الآخر) . سوف تأتي لحظة تجد فيها أن أحد القطارين يتحرك فلا تعلم أيهما ، حتى يختفي القطار الآخر بمن فيه فترى الأرض وتعلم عندئذ فيما إذا كان قطـارك المتحرك أم القطار الثاني . صدقني أيها القارئ أن هذه القصة حدثت معي أكثر من مرة (أعني القصة كلّها ما عدا الشيء الذي يسترعي الانتباه في القطار المجاور ، فهذا لم يحدث أبداً) . ولم تحدث في القطارات وحسب بل في التراموايات والسيارات أيضاً .

ولقد تكلمنا كثيراً عن المكان في النسبية فيما سبق ، وبما أن الحركـة هي انتقال الشيء (الذي يدل على مكان في هذا الكون) من موضع الى آخر ، فإننا إذا أردنا أن نتكلم عن الحركة كان معنى ذلك اننا نخوض موضوع المكان للمرّة الثانية . فهل لديك مانع أيها القارئ من ذلك ؟ أظنك تسمع بعض الاحاديث في بيتك عشر مرات على الأقل تتكرر عليك في غضون عشر ساعات بالاسلوب نفسه وبالكلمات نفسها صادرة عن اللسان نفسه . أما أنا فسوف أعيد عليك الحديث مرّة أخرى بقالب آخر . أما إذا رحت تدّعي أنك تملّ التكرار حقاً ، فما الذي تعمل في البيت عندئذ ؟

لنفرض أنك أنت وحماتك صديقان لدودان أو عدوان حميمان ، وهذا

فرض طبعاً ، ولا أعني به الأمر البديهي الذي يجب أن نسلم بـه دون جدال ، انما أعني الافتراض وهو شيء بعيد الاحتمال . لنفرض – لا سمح الله – أن شيئاً كهذا قد حدث وبلغت حدّة الخصام بينكما مبلغاً قررت بعده أن تترك الكرة الأرضية التي تسكنها الحماة . وكان تحت تصرفك سفينة فضائية تسير بسرعة خمسة آلاف ميل في الساعة ، ركبتها وانطلقت في الفضاء .

إن من مشاكل المستقبل أيها القارئ ، اختراع سفن الفضاء التي تيسر للأزواج الهرب من حمواتهم بهذه السهولة ، فيندفع الملايين منهم إلى الفضاء يفتشون على كواكب لا حموات فيها ، وسوف تصاب الكرة الأرضية عندئذ بنقص في عدد السكان بدلاً مما تعانيه الآن من تضخم في هذا العدد .

لكن مالنا والحديث عن الحقائق الاجتماعية ، إنها لمزعجة حقاً . ولنعد إلى حديثنا الفيزيائي ، فنقول : إنك ركبت أيها القارئ سفينتك الفضائية وانطلقت في الفضاء هارباً من حماتك بسرعة خمسة آلاف ميل في الساعة . إنك ستشعر بالارتياح لمجرد مفارقتك الارض ، ويدب الاطمئنان في قلبك شيئاً فشيئاً كلما ابتعدت عنها . حتى إذا اختفت الأرض (التي تحمل حماتك) عن عينيك أحسست بالاطمئنان الكامل ، وأدركت عندئذ ما هي السعادة ، وأخذت تفكر باتزان وهدوء أعصاب . وسينصرف تفكيرك الهادئ إلى ابحاثك الفيزيائية بما يتيسر لك من آلات أرصاد موجودة في السفينة . من المفروض انك تسير بسرعة خمسة آلاف ميل بالنسبة للأرض لأنك انطلقت منها بهذه السرعة . أما الآن ، وبعد أن اختفت الأرض عن عينيك ، فبأي سرعة تسير ؟ وكيف يمكن أن تقيسها ؟ لا سبيل إلى ذلك . إنك تحتاج إلى شيء تراه حتى تقيس سرعتك بالنسبة اليه . ولكنك تلمح بعد مدّة من الزمن سفينة فضائية أخرى تتبعك . ويبتدئ قلبك بالخفقان خوفاً من أن تكون حماتك هي التي تلاحقك حتى خارج

الكرة الأرضية – وهذا كثير – وتجد أن السفينة الأخرى تقترب من سفينتك ثم تحاذيك وتمرّ عنك سائرة في طريقها . إنك تتنفس الصعداء ، فقد كتب لك الله السلامة ، إنها ليست حماتك ويجب أن يكون إنساناً آخر هارباً من حماته . فالحمد لله على سلامتك . وهنا تسترد وعيك وتستعمل اجهزة الارصاد الدقيقة الموجودة لديك ، وتقيس سرعة السفينة التي مرّت بقربك فتجد أن سرعتها ألف ميل في الساعة بالنسبة لسرعتك . وكلّ ما تستطيع أن تقوله هو ان سرعتها بالنسبة لك هي ألف ميل في الساعة . وبما انك تسير الآن بسرعة خمسة آلاف ميل بالنسبة للارض ، فإن سرعتها ستكون ستة آلاف ميل بالنسبة للارض . لكن ما هي سرعتك الآن في الواقع ؟ ألم يحدث شيء يغيرها كأن يزيد فيها أو ينقص منها ؟ إنك لم تعد ترى الأرض الآن ، وكل ما تستطيع أن تقدمه من قياسات صحيحة موثوق بها هو أن تقول بأن سرعة السفينة الفضائية ألف ميل في الساعة بالنسبة لك ، وهذا الرقم هو ما سجلته آلات أرصادك الدقيقة . ولكن هذا القياس أو هذا الرقم يمكن أن تحصل عليه في احتمالات عديدة. منها أن تكون سرعتك الآن عشرة آلاف ميل في الساعة بالنسبة للأرض وقد مرّت عليك السفينة الأخرى بسرعة أحد عشر ألف ميل في الساعة بالنسبة للأرض . ومنها أن تكون سرعتك ألف ميل في الساعة فقط بالنسبة للأرض والسفينة الأخرى ألفي ميل بالنسبة للأرض أيضاً . ومنها أن تكون واقفاً بالنسبة للارض أي سرعتك صفر وقد مرت عليك السفينة الأخرى بسرعة الف ميل في الساعة بالنسبة للارض . ومنها – وهنا أشد الاحتمالات بلاء – أن تكون السفينة الأخرى هي الواقفة بالنسبة للأرض أي سرعتها صفر ، وانت تسير إلى الخلف بسرعة الف ميل في الساعة متجهاً إلى الأرض التي تركت حماتك فيها . أليس من المناظر المضحكة في هذه الحالة أن تكون ممسكاً بعجلة القيادة متجهاً بوجهك إلى ناحية بينما تسير بك السفينة إلى الناحية الأخرى ؟

مهما يكن من أمر ، فإنك في جميع هذه الحالات ستحصل على نفس القياس ، وهو سرعة السفينة الأخرى بالنسبة لك ، أو سرعتك بالنسبة للسفينة الأخرى . وستدرك عندئذ انك بحاجة إلى شيء ثابت لكي تعرف من الذي يتحرك منكما . كان من المفروض أن يكون الأثير ثابتاً ، فنحن وإن لم نره نعرف بأننا نتحرك بالنسبة له ، ولكن النظرية النسبية حرمتنا حتى من هذا الأثير .

وبناء على ذلك ، هل تعلم أيها القارئ أنك إذا كنت في سفينتك الفضائية في موضع من الكون لا ترى فيه نجوماً أو كواكب أو مجرات فإنك عندئذ لا يمكن أن تعرف — حتى بأدق الاجهزة الموجودة لديك — فيما إذا كنت واقفاً أو متحركاً ؟

وفي هذا يقول آينشتاين : « إن كل حركة نسبية » . وبناء عليه فإننا لا نستطيع أن نتكلم عن حركة مطلقة . وعندما نقول إن سرعة السيارة خمسون ميلاً في الساعة ، فمن المفهوم بداهة أنها تكون كذلك بالنسبة للأرض . أما إذا ابتعدنا عن الشيء الذي يمكن أن نقيس سرعتنا بالنسبة له ، فلن يكون للحديث عن السرعة أي معنى .

وفي هذا الكون الواسع ذي المجرات والنجوم لن نستطيع أن نعرف أيها الثابت وأيها المتحرك ، بل كلمة الثابت هنا لا معنى لها . فكلها في حركات دائمة مستمرة معقدة ، وإذا أردنا أن نتكلم عن سرعة من السرعات فإننا نقول سرعة كذا بالنسبة لكذا . أما ان نذكر السرعة ولا نذكر بالنسبة لأي شيء فسيكون كلامنا فارغاً .

وأخشى ما أخشاه أن يكون كلامنا فارغاً في الحالين .

وبهذه المناسبة يجب أن نذكر قول العلامة الكلاسيكي نيوتن **Newton** في هذا الخصوص . يقول بأننا لا نستطيع أن نعرف أن سفينة تتحرك في عرض البحر أو واقفة فيه بأي اختبار يمكن أن نجريه داخل السفينة ، وإذا أردنا أن نعرف ذلك فعلينا أن نلجأ إلى اختبارات أخرى تصلنا بخارج

السفينة ، كأن نطلع على سطحها وننظر إلى قمم الجبال على الشاطئ ، ونرى إن كنا نقترب منها أو نبتعد عنها أو أن المسافة بيننا لا تتغير . أو كأن ندلي بعصا في الماء فنرى التيار الذي يتكون حول العصا فنعرف اتجاه حركة السفينة ونقدر سرعتها من اتجاه التيار المتكون حول العصا وسرعته . وإذا حدث أن غمسنا العصا في الماء فلم يتكون حولها تيار في أي جهة من الجهات فإننا نعرف عندئذ أن السفينة واقفة لا تتحرك . أما الاختبار الذي يدلنا على حركة السفينة ونحن بداخلها فلم يوجد بعد ، ولا يمكن أن يوجد .

وكذلك نحن على الارض ، وكذلك كل جرم سماوي .

سرعة الضوء في النسبية

إذا طلبت النظرية النسبية منا أن نسلم لها بأن كل حركة نسبية ، بناء على الغاء الاثير ، فأعتقد أنها لا تطلب كثيراً ومطلبها عادل سهل الفهم نستطيع استيعابه وقبوله على الرحب والسعة ، وأظن أن الامثلة التي ضربناها تفسر ذلك .

ولكنها تفرض فرضاً آخر وتطلب منا أن نسلّم لها به . وهذا الفرض عن سرعة الضوء . فهي تقول بأن سرعة الضوء دائماً ثابتة بالنسبة للمشاهد .

أظنك قد ركبت السيارة كثيراً أيها القارئ . فركوب السيارات هو الازعاج الذي أصبح ضرورة لازمة للفرد في النصف الثاني من القرن العشرين ، وهو كالمزعجات الاخرى التي تفرضها الحضارة علينا ، فإذا ما استغنيت عنها اعتبرك الناس متأخراً . مهما يكن من أمر ، فليس هذا هو موضوع الحديث .

إذا كنت تركب سيارة في طريق ما ، بين بلدين ، وكانت السيارة مسرعة جداً – كما هي عادة كل السائقين – وسرعتها مئة ميل في الساعة بحسب العداد الذي يقيس السرعة ، فإنك إذا نظرت إلى جانبي الطريق

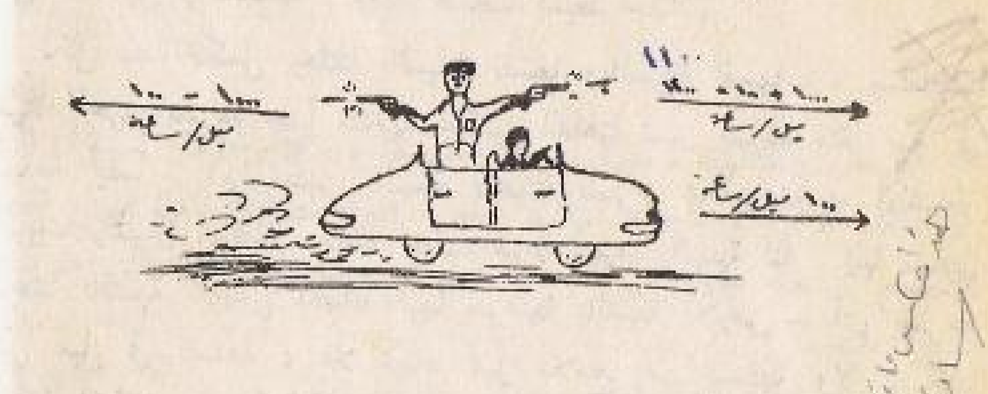
تلمح الأشجار والبيوت وهي تمرّ أمام عينيك بسرعة خاطفة ، وإذا مررت بسيارة أخرى واقفة على جانب الطريق فإنها تمر أمام عينيك بسرعة الأشجار والبيوت بحيث لن تستطيع أن ترضي حب استطلاعك في معرفة السبب الذي وقفت السيارة الأخرى لأجله ، مع أنك تتحرك شوقاً إلى ذلك . وإذا شئنا أن ندخل الحساب – كما هي عادتنا التي أصبحت تألفها الآن – نقول إن سرعتك مئة ميل في الساعة في سيارتك بالنسبة للأرض . وسرعة السيارة الواقفة صفر بالنسبة للأرض . وسرعتك بالنسبة للسيارة الواقفة هي مئة ميل في الساعة . وهذا حساب بسيط جداً .

لكن دعنا نكمل رحلتنا بالسيارة نفسها وبالسرعة نفسها ، وستقابلنا سياة أخرى مسرعة جداً متجهة عكس اتجاهنا تسير بسرعة مئة ميل في الساعة أيضاً . انها ستمر بالنسبة لأعيننا بأسرع مما مرّت به الأشجار والبيوت والسيارة الواقفة . دعنا نحسب سرعة سيرها بالنسبة لنا . إنها تساوي سرعتنا بالنسبة للارض مضافاً اليها سرعتها بالنسبة الارض – أي بسرعة مئتي ميل في الساعة ، فلا تكاد تميز ملامح من يسوقها ولا تكاد تعرف إن كان رجلاً أو امرأة ، على الرغم من رغبتك الشديدة في معرفة ذلك .

ولنفرض الآن أن سيارة أخرى كانت تسير بجوارنا محاذية لنا وفي اتجاه سيارتنا ، وكانت سرعتها مئة ميل كسرعة سيارتنا تماماً . فلن يسبق أحدنا الآخر ، وستظل السيارتان متحاذيتين ، وسيتمكن ركاب احداهما من رؤية ركاب الأخرى ، ويتداولون اطراف الحديث ، وكأنهم جالسون على الأرض لولا ازعاج صوت السيارتين . والسبب في ذلك هو ان سرعة السيارتين بالنسبة لبعضهما البعض تساوي صفراً . وكل ما عملناه في هذه الحالة هو أن قمنا بعملية طرح السرعتين احداهما من الأخرى .

هل فهمت متى تجمع السرعات مع بعضها البعض أو تطرحها من بعضها البعض أيها القارئ الصابر ؟

ولنأت الآن إلى مثل آخر ونحن لا نزال في سيارتنا المندفعة بسرعتها الأولى . كان أحد الركاب معنا أحمق يحمل مسدساً ، والحمقى لا نعرف سبباً لتصرفاتهم . فسحب مسدسه وأطلق طلقة باتجاه سير السيارة ، ثم استدار وأطلق طلقة أخرى إلى الخلف عكس اتجاه سير السيارة . وكنا نعرف مسبقاً أن سرعة الطلقة من مسدسه هذا هي ألف ميل في الساعة إذا اطلقت من مسدس ثابت على الارض . فكم ستكون سرعة الطلقة باتجاه السيارة وكم ستكون سرعتها عكس ذلك (بالنسبة للأرض طبعاً) ؟



شكل (٧) الأحمق الذي اطلق النـــار

أرأيت إلى الحمقى كيف يجلبون لنا المشاكل أيها القارئ ؟ فلو لم يطلق النار لما أتعبنا في الحساب . لكن يظهر أنه خفيف الظل ، فخفة الظل والحمق متلازمان في كثير من الأحيان ، ولهذا نجد أن المسألة بسيطة . وقد تعلمنا كيف ومتى نجمع السرعات ونطرحها . وبناء على ذلك ، ستكون سرعة الطلقة الأولى التي اطلقت باتجاه السيارة :

١٠٠ + ١٠٠٠ = ١١٠٠ ميلاً في الساعة بالنسبة للأرض . وستكون سرعة الطلقة الثانية التي أطلقها الاحمق عكس اتجاه السيارة :

١٠٠٠ – ١٠٠ = ٩٠٠ ميلاً في الساعة بالنسبة للأرض . حساب بسيط ، خفيف الظل غير أحمق . وكل كلامنا معقول حتى الآن

ولنتدرج مع القارئ على هذا المنوال من جمع السرعات وطرحها . ولنفرض أن السيارة كانت تقلنا إلى مرصد من المراصد تلبية لدعوة العالم الفلكي صاحب المرصد الذي كان صديقاً لأحدنا . فأخذنا العالم إلى التلسكوب وأخذ يرينا الكواكب والنجوم والمجرات . ودلنا على نجم من النجوم وقال إن هذا النجم يسير نحو الكرة الأرضية بسرعة مئة الف ميل في الثانية – (أو أن الكرة الأرضية تسير في اتجاهه بهذه السرعة ، لم يعد الآن لدينا فرق بين التعبيرين لا سيا وقد أصبحنا نفكر بالابعاد الأربعة)

إننا ننتظر عندئذ أن تكون سرعة الضوء التي تصلنا من هذا النجم كما يلي :

١٨٦٠٠٠ + ١٠٠٠٠٠ = ٢٨٦٠٠٠ ميلاً/ثانية .

وبعد ذلك دلنا العالم الطيب على نجم آخر يبتعد عنا بسرعة ١٠٠٠٠٠ ميل في الثانية (أو نحن نبتعد عنه بهذه السرعة ، يا صاحب الفكر ذي الابعاد الأربعة) إننا ننتظر أن تكون سرعة الضوء في هذه الحالة :

١٨٦٠٠٠ – ١٠٠٠٠٠ = ٨٦٠٠٠ ميلاً/ثانية .

أليس كذلك ؟

نعم ، ليس كذلك .

فالنظرية النسبية الخاصة ترفض هذا التسلسل المنطقي المعقول ، وتطلب منا أن نسلّم لها بالفرض التالي : **وهو أن سرعة الضوء دائماً ثابتة بالنسبة المشاهد** ، لن تتغير بحال من الأحوال ولا يمكن أن يكون للضوء سرعات مختلفة مهما اختلفت النسبة بين سرعة المشاهد وسرعة مصدر الضوء . ومعنى هذا أن سرعة الضوء الذي يأتينا من النجم المبتعد عنا بسرعة مئة ألف ميل في الثانية وسرعة الضوء الذي يأتينا من النجم الآخر الذي يقترب منا بسرعة مئة ألف ميل في الثانية ، يجب أن تكون في الحالين واحدة ! وليس ذلك فقط ، بل إننا لو فرضنا أن هناك نجماً يقترب منا بسرعة

الضوء (وهذا فرض مستحيل طبعاً) فإننا سنجد أن الضوء الذي يصلنا منه سيكون بسرعة الضوء العادية ! وسوف يصلنا بنفس السرعة التي يصلنا بها ضوء آت من نجم يبتعد عنا ١٨٥٠٠٠ ميلاً في الثانية !

أعرني عقلك الآن حقاً !

إن آينشتاين حين يقرر هذا يعرف أنه يتحدى مفاهيمنا وعقولنا ويعترف بذلك ويقول : « ما العمل إذا كان هذا هو من قوانين الكون الأساسية ؟ »

وبناءً على ذلك ، **فإن سرعة الضوء بالنسبة للمشاهد هي سرعة مطلقة** . وهي في الواقع الشيء المطلق الوحيد الذي تطلبه منا النظرية النسبية .

وسنأتي إلى زيادة الايضاح في ذلك عندما نأتي إلى قانونه المتعلق بجمع السرعات .

على أية حال ، فإن آينشتاين لا يعتبر هذه السرعة هي سرعة الضوء وحسب ، إنما يعتبرها السرعة الكونية لجميع الظواهر الكهربائية المغناطيسية ، والضوء هو أحد هذه الظواهر (ومن الظواهر الأخرى الموجات الكهربائية والتأثير المغناطيسي) وكلها تنتقل بالسرعة نفسها .

وهي في الوقت نفسه الحد الاقصى للسرعة ومن المستحيل أن نجد جسماً من الأجسام يتسارع حتى يبلغها . أي أن أيّ جسم مادّي مهما بلغت سرعته ، فلن يبلغ سرعة الضوء ، ومن العبث أن نتكلم عن سرعة أكبر منها .

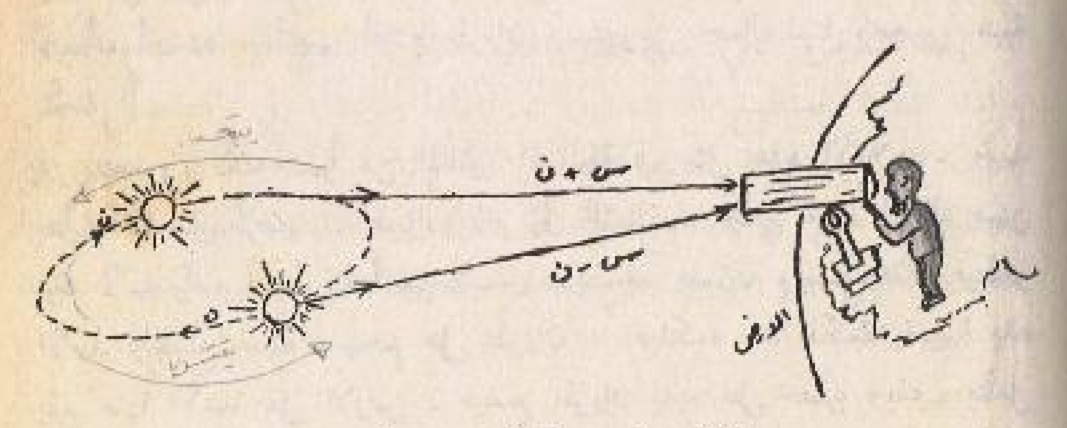
الدليل على ثبات سرعة الضوء :

مع أن ثبات سرعة الضوء هو فرض أو بديهية للنظرية النسبية الاّ أن هناك من الدلائل ما يثبت صحتها . ولغرابتها وصعوبة تصديقها كان من

الضروري وجود بعض الأدلة على ذلك حتى نستطيع استيعابها قبل الدخول في تفاصيل النظرية . وبهذا لا نكون قد سلمنا لآينشتاين بهذه البديهية تسليماً أعمى .

فالاختبارات التي يختص بها الفلكيون — وما أكثر اختباراتهم — تدل على أن الضوء الواصل إلى الأرض من أي نجم كان — سواء كان هذا النجم يبتعد أو يقترب من الارض — هو ذو سرعة ثابتة .

وبالاضافة إلى ذلك ، فمن المعروف عند الأساتذة الفلكيين أن كثيراً من النجوم ثنائية ، بل أن حوالى نصف النجوم التي يعرفونها هي كذلك . ونعني بهذا القول أن نجمين (أو شمسين كبيرتين إذا شئت هذا التعبير) تدوران حول مركز مشترك في مدار واحد ، سيسير كل نجم منهما عندئذ نصف دورته حول المركز المشترك وهو يبتعد عنا ، والنصف الآخر من



شكل (٨) سرعة الضوء من نجم ثنائي

الدورة وهو يقترب منا (شكل «٨») . فإذا فرضنا أن سرعة النجم في مداره كسرعة الارض في مدارها : ١٨,٥ ميلاً—ثانية (وهو في الغالب أسرع من ذلك) كان الفرق كبيراً ما بين سرعة الضوء الصادر عنه في الذهاب ، وسرعة الضوء الصادر عنه في الإياب . ولنستعمل الرموز لكي نقارب العلماء في لغتهم فنفرض أن سرعة الضوء (س) وسرعة النجم (ن)،

فستكون سرعة الضوء في الذهاب س ــ ن وسرعته في الاياب س + ن .

وإذا كانت سرعة النجم حول مداره كما ذكرنا ١٨,٥ ميلاً ــ ثانية ، فسيكون الفرق ما بين السرعتين ٣٧ ميلاً ــ ثانية .

وإذا كان بعد النجم عنا مئة سنة ضوئية (وهذا بعد عاديّ للنجوم الثنائية التي يعرفها الفلكيون) ، فإن هذا الفرق الضئيل سيعطينا فرق اسبوع ما بين النجم وهو يبتعد عنا وبينه وهو يقترب منا . وسينعكس هذا الفرق كلما دار النجم نصف دورة . وسنرى عندئذ أمراً غريباً حقاً لا نكاد نعرف منه أن هناك نجمين ثنائيين يدوران حول مركز مشترك ، وانما سيبدو لنا منظر مشوش جداً لا نكاد نفهم منه شيئاً . وسأشرح لك ذلك بواسطة شاشة السينما .

هل تحب السينما مثلي أيها القارئ ، إني احبها ولكن متعة الحديث اليك هي التي منعتني عن حضور آخر الأفلام . وقد كنت منذ عهد ــ لا أود أن أحدده ــ أحب أفلام طرزان ويستهويني جمال شيتا وتعجبني هيبة الأسد .

لنتصور الآن منظراً من المناظر المألوفة في مثل هذه الأفلام ، وقد بدأت الشاشة عرضها . طرزان نائم إلى الشمال ، وتأتي شيتا لتوقظه من نومه لأنها رأت أسداً قادماً من اليمين . يصحو طرزان ويهب واقفاً ، فيظهر الأسد ويجمع نفسه ويهجم على طرزان ، فيلكمه هذا لكمة بقبضة يده يقع منها الأسد على الارض . فيضع طرزان يديه على خصره ويقف يتأمل الأسد وهو منطرح على الأرض ، فينهض الأسد ويولي هارباً ويجلس طرزان وعلى وجهه ملامح النصر .

وقد تكون لا تحب طرزان ولكن هذا هو المنظر الذي اخترته لك . فأمرك لله .

ولنفرض الآن أن هناك خللاً في آلات السينما بحيث أصبحت الأشعة من النصف الايمن من الشاشة تتأخر عن تلك التي تصدر عن النصف

الايسر منها ، فماذا سنرى ؟ سنرى منظراً كالتالي :

طرزان نائم فتأتي شيتا وتوقظه من نومه ، فيصحو ويهب واقفاً ، ويلكم النصف الآخر من الشاشة لكمة قوية بقبضة يده . وهنا نرى أسداً يظهر من الناحية الأخرى فيضع طرزان يديه على خصره ويقف يتأمل ، فيهجم عليه الاسد ، فيجلس طرزان وعلى وجهه ملامح النصر ، فينطرح الأسد على الأرض لحظة من الزمن ثم ينهض ويولي هارباً .

منظر مشوش جداً . أليس كذلك . بلى .

منظر كهذا ينتظر الفلكيون أن يروه فيما إذا كانت سرعة الضوء تختلف في ذهاب النجم وفي إيابه في النجوم الثنائية . ولكن التلسكوبات كلها تريهم أن هذه النجوم سائرة على ما يرام وليس هناك تشويش في منظرها اطلاقاً ، وأن سرعة الضوء الصادر عن النجم في الذهاب والاياب واحدة لا تتغير .

إذن فالفرض الثاني الذي تقوم عليه النظرية النسبية هو صحيح أيضاً .

وإذا كنا لا نستطيع أن نتصور أن إضافة سرعتين إلى بعضهما البعض سوف لا يزيد سرعة الضوء بحال من الأحوال ، فما هذا إلا عجز في تفكيرنا ، عجز لا نستطيع معه أن ندرك هذا الثابت الكوني . أما هذا الثابت الكوني فهو موجود على ثباته ، كحقيقة من حقائق الكون ، شئنا أم أبينا .

قوانين النسبية الخاصة

كان الفرضان السابقان خرقاً في مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية وموضع الاستهجان لا من العلماء فحسب ، بل من المنطق البشريّ السليم آنذاك . وكان من الممكن أن يبقيا مجرد متعة ذهنية لو لم تقم عليهما نظرية متكاملة لا تفسر الظواهر التي تعترضها فقط ، إنما تعطي قوانين دقيقة وتتنبأ بحقائق فيزيائية تثبت الاختبارات صحتها كل يوم .

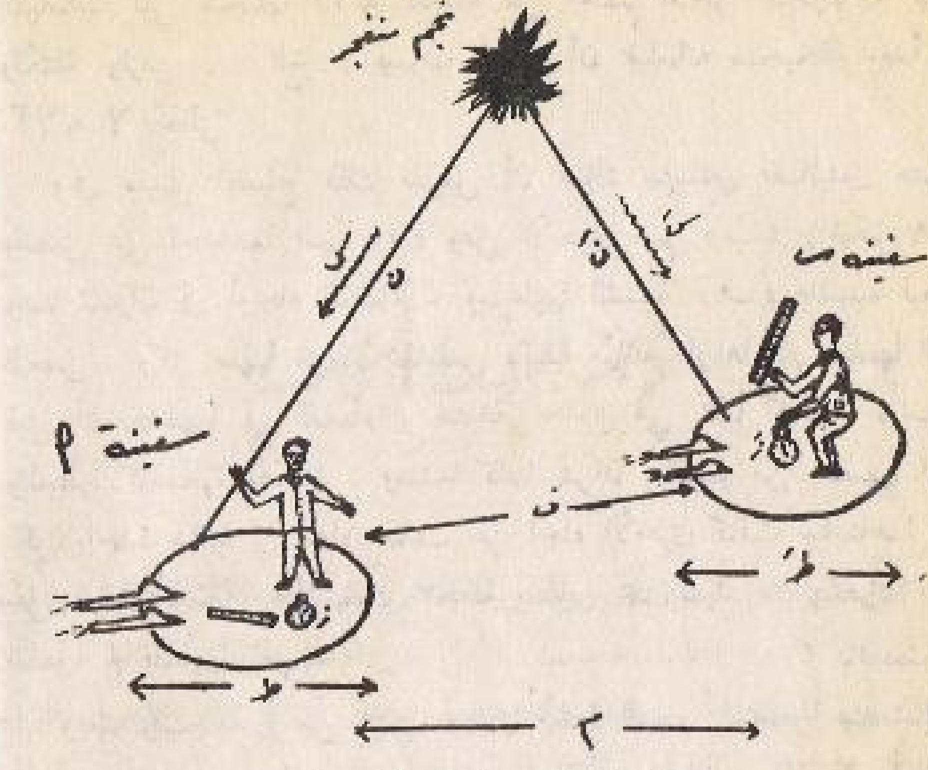
ولكي نصل إلى ربط الفرضين السابقين مع القوانين التي تقوم عليهما النظرية ، ونرى مواضع تطبيقها ، يجب أن نضرب مثلاً يشتمل على هذين الفرضين . وبما ان النسبية الخاصة تبحث في الاجسام المتحركة بسرعة ثابتة ، وتبحث في الضوء من حيث سلوكه في الكون (أو حسن سلوكه ، لا فرق في التعبير ، لا سيما وأنه يتحلى بثبات سرعته في عين المشاهد ، والثبات في هذه الدنيا قليل) فإن أحسن مثل يمكن أن نقدمه هو أن نجعل مشاهداً في سفينة فضائية يصف لنا جسماً يتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة له : إن مسلك الموجات الضوئية سيكون له أثر كبير على الوصف ، لأن انعكاس هذه الموجات عن الجسم وذهابها إلى عين المشاهد هو الذي يجعله يراها فيصفها . وما سيتكلم عنه المشاهد سيكون بناء على

القياسات التي سجلتها آلاته الدقيقة عن الجسم الآخر المتحرك ، كالطول والكتلة والزمن ... الخ . وسوف نعتبر أن قياساته صحيحة جداً وأن آلاته لا تخطئ .

وفي سبيل ايضاح ذلك نفرض أن هناك سفينتين فضائيتين متماثلتين ولنطلق على احداهما اسم « ا » وعلى الأخرى اسم « ب » (شكل ٩) ؛ وهما تسيران في أرجاء الفضاء ، وسرعتهما النسبية « ف » بالنسبة لبعضهما البعض . وكل منهما مزودة بمقاييس دقيقة متماثلة قارناها مع بعضها البعض قبل أن نطلقهما في الفضاء . فساعة « ا » هي تماماً كساعة « ب » ، والمسطرة كالمسطرة وهكذا . وعندما كانتا تمرّان بالقرب من بعضهما البعض كل واحدة سائرة في اتجاه يختلف عن اتجاه الأخرى كانت ساعتاهما تدلان على الوقت نفسه . وفي تلك اللحظة ينفجر نجم بعيد فلا يشعران به لأن الضوء لم يصلهما بعد .

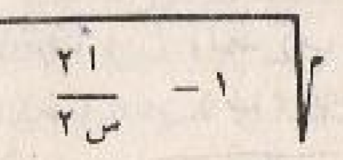
وبعد وقت معين من الزمن تصلهما أشعة النجم المنفجر عندما يكونان قد بعدا عن بعضهما البعض بمقدار المسافة (م) . وبناء على الفرض الثاني سيريان الضوء الآتي من النجم بالسرعة نفسها . وبما اننا وضعنا (س) لترمز لسرعة الضوء الذاهب إلى « ا » و (سَ) لترمز لسرعة الضوء الذاهب إلى (ب) ، فنستطيع أن نقول بأن س = سَ . وقد رمزنا لبعد (ا) عن النجم بالحرف (ن) ولبعد (ب) عنه بالحرف (نَ) ثم نرمز لزمن (ا) بالحرف (ز) وزمن (ب) بالحرف (زَ) ونبدأ البحث .

وتسمى القوانين الناتجة قوانين لورنتز **Lorentz** . وإذا كان القارئ لا يزال يذكر اختبار ميكلسون مورلي وتفسيرات الفيزياء الكلاسيكية لخيبته (أي خيبة الاختبار ، لا خيبة القارئ) ، فسيذكر أن أحسن تفسير آنذاك كان تفسير فتزجرالد الذي قال بأن الأجسام السائرة في الأثير تنكمش وتتقلص باتجاه حركتها ، وسميت هذه الظاهرة انكماش فتزج



شكل (٩) سفينتنا الفضـاء

باسم الذي شرحها نظرياً ، ولكن جاء بعده لورنتز ووضع التقدير الكمي للانكماش بالمعادلة التالية :



$$\sqrt{١ - \frac{أ^{٢}}{س^{٢}}}$$

أ = سرعة الأرض في الأثير ، س = سرعة الضوء .

وقد قلنا فيما سبق أن التفسير النظري الذي وضعه فتزجرالد ، كـان مصطنعاً لأنه وضع ليفسر حـالة خاصة جداً هي فشل اختبار ميكلسون مورلي ، والشيء نفسه يقال عن قانون لورنتز لأنه وضع التفسير النظري السابق على شكل قانون حسابي يبين لنا مقدار الانكماش . وإنصافاً

لورنتز تقول ، إن قانونه ينطبق أيضـاً على بعض مجـالات الكهرباء والمغناطيس .

وقد استعمل آينشتاين قوانين لورنتز نفسها في النظرية النسبية الخاصة . وهذه القوانين في هذه النظرية تنطبق على كلّ مادة ، مهما كان نوعها ، دون استثناء . وسنبدأ الآن بشرح القوانين ، ويجب أن لا يندهش القارئ إذا رأى نتـائج غريبة غير منتظرة لأننا سنبني كلامنا على فرضين غير مألوفين .

مهما يكن من أمر ، فإن النتائج التي ستوصلنا اليها قوانين النظريـة النسبية ليست صعبة الفهم كما هو شائع عنها ، بل هي صعبة التصديق .

فإذا شئت افهمها ولا تصدقها .





القانون الاول

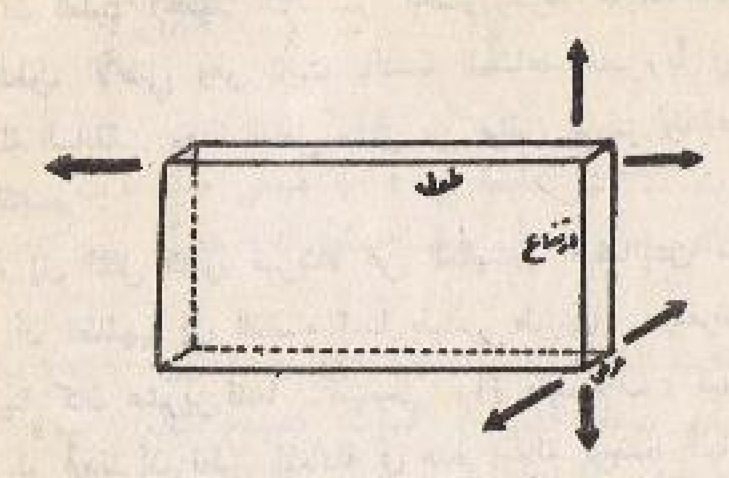
انكماش الطول

إذا بدأنا بالمفاهيم السابقة ، وجردنا الكون من مفاهيمه المطلقة (سوى سرعة الضوء) وعرفنا أن كلّ شيء متحرك ، وكل حركة نسبية ، فما هي المعايير التي سنستند عليها في قياساتنا في العالم الذي أصبحنا نفهمه الآن بشكل آخر غير الذي كنا نفهمه به من قبل ؟ وسنرى ضمن القوانين التي سنبحثها أن عالمنا في الواقع هو ذو أربعة ابعاد لا ثلاثة ، كما كانت تحدثنا الفيزياء الكلاسيكية .

كيف نقيس الأطوال ، أو بتعبير أصح كيف نقيس الأبعاد المسافية ؟

تقول النظرية النسبية الخاصة إن الاجسام تنكمش في اتجاه حركتها ، أي أن الانكماش يحصل في بعد الجسم المتجه مع الحركة ، لا في البعيدين الآخرين . وبما أننا نفرض عادة أن الجسم يتحرك في اتجاه طوله ، لذلك نتكلم عن انكماش الطول . ولا أدري ما الذي يعجب الناس في الطول حتى يفضلونه على غيره من الابعاد . حتى النسبية الخاصة عندما تتكلم عن انكماش البعد السائر في اتجاه الحركة تختار الطول لتتكلم عنه ، لأن آينشتاين يفرض أن الجسم يسير باتجاه الطول ، مع

ان العرض إذا سار في هذا الاتجاه ينكمش ، والارتفاع كذلك .



شكل (١٠) البعد المنكمش

وفي الشكل (١٠) مكعب له طول وعرض وارتفاع كأي مكعب آخر ، قد يسير في اتجاه الطول إلى احدى الناحيتين اللتين يدل عليهما سهمان ، وعندئذ يحدث الانكماش في الطول . أما إذا انطلق في الفضاء سائراً في اتجاه الارتفاع إلى احدى الناحيتين اللتين يدل عليهما سهمان ، فإن الانكماش يحدث في الارتفاع . والحديث نفسه يقال عن العرض .

على أية حال ، فالحديث فيما يلي سيكون عن الطول فقط ، ونعني بهذه الكلمة البعد السائر في اتجاه حركة الجسم .

ويعطينا آينشتاين مقدار انكماش طول الجسم اثناء سيره ، بالمعادلة التالية :

$$\bar{ط} = ط \sqrt{1 - \frac{ف^2}{س^2}}$$

ط̄ ـ الطول الجديد أثناء الحركة ، ط ـ الطول الأصلي وهو ثابت ،

ف ـ السرعة التي يسير بها الجسم ، س ـ سرعة الضوء .

أي ان الطول الجديد أثناء سير الجسم بسرعة معينة بالنسبة للمشاهد يساوي الطول الأصلي وهو ثابت بالنسبة للمشاهد مضروباً في عامل مبين في المعادلة السابقة . وهذا العامل مشتق من قوانين لورنتز وله علاقة بالسرعة النسبية للجسم .

ولنعد إلى المثل الذي ضربناه عن السفينتين الفضائيتين شكل (٩) . إننا قبل أن نطلقهما إلى الفضاء قمنا بقياس طوليهما . ولنفرض أن طول كل سفينة كان عشرين قدماً . سيقيس «ا» طول «ب» فيجده عشرين قدماً . ولو أردنا أن نطبق المعادلة في هذه الحالة لوجدنا أنها تعطينا الرقم نفسه ، لأن السرعة بين «ا» و «ب» وهما واقفان تساوي صفراً : وبالتعويض نجد أن :

$$\text{ط} = ٢٠ \sqrt{١ - \frac{\text{صفر}}{\text{س}^{٢}}}$$

$$= ٢٠ \sqrt{١}$$

= ٢٠ قدماً .

ولنفرض الآن أن «ا» و «ب» انطلقتا في الفضاء وأصبحت السرعة النسبية بينهما ٩٣٠٠٠ ميلاً ـ ثانية (نصف سرعة الضوء) وأراد أن يقيس «ا» طول «ب» . فيمكننا نحن أن نعرف ما سوف تسجله آلاته وذلك من تعويض الرموز بالأرقام في المعادلة السابقة .

$$\text{ط} = ٢٠ \sqrt{١ - \frac{(٩٣٠٠٠)^{٢}}{(١٨٦٠٠٠)^{٢}}}$$

= ١٧ قدماً .

ولو تيسرت الآلات الدقيقة في «ا» لقياس طول «ب» وهي سائرة بهذه السرعة النسبية لوجد أن طولها يساوي ١٧ قدماً ، كما كانت نتيجة المعادلة .

أما لو زادت السرعة النسبية بينهما حتى وصلت إلى ١٦١٠٠٠ ميلاً ـ ثانية (أي ٠,٩ من سرعة الضوء) فسوف يصبح طول «ب» بالنسبة للسفينة «ا» عشرة أقدام فقط ، سواء بالارصاد الدقيقة أو بالحسابات والتعويض في المعادلة السابقة .

أما إذا فرضنا المستحيل وأصبحت السرعة النسبية بين «ا» و «ب» مثل سرعة الضوء ، فإن طول «ب» سيصبح بالنسبة لأرصاد «ا» وحساباته صفراً . أي لا يعود لها طول بالمرّة . وإذا عوضنا في المعادلة نجد أن الامر كذلك .

هذا هو شأن «ا» وقياساته وحساباته .

ونسأل الآن أنفسنا ، وكيف يكون الامر عندما يريد «ب» أن يقيس طول «ا» ؟ الواقع أن المعادلة بمفهومها وحساباتها ستنطبق (حرفياً) ، وسوف يحصل «ب» على النتائج نفسها التي حصل عليها «ا» ، فإذا كانت سرعتهما النسبية ٩٣٠٠٠ ميلاً ـ ثانية ، فسوف نجد أن طول «ا» ١٧ قدماً ، وإذا كانت ١٦١٠٠٠ ميلاً ـ ثانية سيكون طول «ا» ١٠ أقدام ... وهكذا .

ويجب أن يكون معلوماً للقارئ أننا نعني بالسرعة النسبية هي سرعة كلٍّ منهما بالنسبة للآخر ، وسوف لا يكون هناك أي فرق فيما إذا كانا يبتعدان عن بعضهما البعض أو يقتربان من بعضهما البعض .

والآن ، ماذا ستكون النتيجة ، إذا ما أراد « ا » أن يقيس طول نفسه ، مع العلم بأن هناك سرعة معينة « ف » بينه وبين « ب » ؟ إنه سوف يجد دائماً أن طوله عشرين قدماً مهما كانت سرعته بالنسبة إلى « ب » أو بالنسبة إلى أيّ شيء آخر . والشيء نفسه فيما لو اراد « ب » أن يقيس طول نفسه .

ويمكن أن نضع هذا القانون بالكلمات التالية : **إذا ما تحرك مشاهدان بالنسبة لبعضهما البعض ، سواء أكانا يقتربان أم يبتعدان ، فسيبدو لكل منهما أن الآخر قد انكمش في اتجاه حركته ، ولن يجد المشاهد أي أثر للانكماش في طوله نفسه .**

ويجب أن يعلم القارئ أن هذا الانكماش يسري على جميع الاجسام المادية المتحركة ، وبنفس النسبة التي تحددها القانون الأول لا فرق في ذلك بين قضيب من مطاط وقضيب من فولاذ .

وهذا القانون نفسه هو الذي يفسر للقارئ خيبة اختبار ميكلسون مورلي ، إذ أن المائدة الصخرية التي اقيم عليها الاختبار تنكمش في اتجاه الريح الأثيرية (وهو اتجاه حركتها) بالمقدار الذي تحدده معادلة القانون الأول . وهذا هو مقدار تأخير أشعة الضوء مع الأثير وضده .

ومن اللطيف هنا أن نذكر تفسير الاستاذ آينشتاين لهذه الظاهرة فيما نشره عنها سنة ١٩٠٤ قال :

« إننا هنا نعالج ظاهرة كونية هي انكماش الفضاء نفسه . وكل الاجسام المتحركة بالسرعة نفسها تتقلص وتنكمش بالطريقة نفسها ، وذلك لأنها مغمورة في الفضاء المنكمش نفسه » .

هل سمعت أيها القارئ بالمثل الذي يقول : « جاء يكحلها فاعماها » . أظننا بلا شك كنا نفهم القانون الأول قبل أن يتدخل الاستاذ آينشتاين لإيضاحه . وعندما أراد أن يفسره لنا زاده تعقيداً .

الفضاء ينكمش ؟!! الفضاء يتقلص ؟!! إني أرى هذا الرجل

يستعمل الفضاء كالكور الذي ينفخ به الحداد على النار ، فيمده أنّى شاء ، ويطبقه أنّى شاء !

لكن يجب أن لا نظلم الرجل فهو لم يتكلم لنا عن الفضاء بعد .

مهما يكن من أمر ، فنحن والحمد لله مستريحون في حياتنا اليومية على الأرض من ازعاج هذا القانون لأعصابنا ، على الرغم من أهميته البالغة في فهم الأسس الفيزيائية . فلا نلاحظ أن السيارة تقصر وهي تسير ، ولا نرى أن وجه الانسان يتفلطح وهو راكض . والسبب في ذلك هو أن أكبر السرعات التي نمارسها في الحياة اليومية لا تزال ضئيلة جداً بالنسبة لسرعة الضوء ، فالسيارة السائرة بسرعة ٥٠ ميلاً في الساعة ينكمش طولها بعامل قدره $\sqrt{1-(10^{-7})^2} = 0.999999999999999$ أي تنكمش بمقدار قطر نواة الذرة . والطائرة النفاثة التي تسير بسرعة ٦٠٠ ميل في الساعة تنكمش بمقدار قطر الذرة . والصاروخ السائر بين الافلاك في الفضاء والبالغ طوله مئة متر وسرعته ٢٥٠٠٠ ميل-ساعة ينقص طوله بمقدار جزء واحد في المائة من الميليمتر .

نستنتج من ذلك أن ظاهرة الانكماش هذه لا يمكن أن نلاحظها على سطح الأرض ، فمهما بلغت اجهزة العلم الحديث من الدقة فلن تستطيع على الاقل في العصر الذي نعيش فيه — أن تقيس الانكماش الضئيل الذي تنكمشه الأجسام المتحركة بالسرعات التي نعرفها حالياً .

ولإعطاء فكرة عن مقدار الانكماش الحاصل أثناء السرعة نفرض أن لدينا متراً على الأرض ، جعلناه يسير في الفضاء بسرعة ٥٠ بالمئة من سرعة الضوء فستجد أن طوله أصبح ٨٦ سنتمتراً (أي ٨٦ بالمئة) ، وإذا جعلناه يسير بسرعة ٩٠ بالمئة من سرعة الضوء يصبح طوله ٤٥ سنتمتراً وإذا سار بسرعة ٩٩ بالمئة من سرعة الضوء نجد ان طوله أصبح اربعة عشر سنتمتراً فقط .

وهذه الارقام أو النسب المئوية يستطيع القارئ بنفسه أن يحصل عليها، إذا كان له إلمام بسيط بالرياضيات ، وذلك بواسطة معادلة القانون المار ذكره ، والتعويض بالارقام بدل الرموز .

والآن ... ما الذي يعنيه هذا القانون بالنسبة لمفاهيمنا ؟

ما دام كل شيء في حركة ، وكل حركة نسبية ، فالمشاهد الذي يقيس طول جسمه والجسم المقاس ينكمشان حسب حركتهما . فالمتر الذي يقيسه المشاهد (والسرعة النسبية بينهما صفر) ، هو طول يدل على متر بالنسبة لهذا المشاهد فقط ، أما مشاهد آخر يتحرك بسرعة نسبية أخرى فسيجد أنه يدل على طول آخر ، ومشاهد ثالث يتحرك بسرعة نسبية ثالثة يجد له طولاً يختلف عن الأول والثاني ، وهكذا . وقد نجد ألف مشاهد بألف سرعة نسبية مختلفة عن بعضها البعض بالنسبة للمتر فيعطينا كلّ واحد منهم طولاً معيناً يختلف عن الآخر . فأي هذه الأطوال هو الطول الحقيقي المطلق للمتر . والواقع أن كلّ هذه الاطوال هي حقيقية بالنسبة للمشاهدين، وليس هناك طول مطلق ؛ حتى المتر الذي نمسكه بأيدينا يختلف طوله إذا ما وضعنا محوره موازياً لخط الأستواء أو عمودياً عليه ، ولكنا لن نلاحظ أمراً كهذا لصغر كمية الانكماش أولاً ولأننا أنفسنا ننكمش مع انكماش المتر ثانياً .

إنه لأمر لطيف أن نصبح في هذه الحياة غير متأكدين من ان المتر الذي نحمله في ايدينا هو متر حقاً ، وكل ما نستطيع أن نقوله عنه أنه متر بالنسبة لنا فقط . وألطف من ذلك ، ان هذا المتر يتغير طوله بين أيدينا إذا ما أدرنا اتجاهه ، فهو يطول ويقصر دون أن ندري ، لأن حواسنا لا تكتشف ذلك ، وألطف من ذلك كله أننا أنفسنا ننكمش وتتمدد تبعاً للاتجاه الذي ننظر اليه ، كما ينكمش المتر تماماً .

فما رأيك في هذا ، أيها القارئ المنكمش ؟

ألف ليلة وليلة :

للاستاذ جورج جامو كتاب يشرح فيه النظرية النسبية على شكل قصة تقع في بلد خيالي تكون فيه سرعة الضوء عشرين ميلاً في الساعة ، ويسمي هذا البلد بلد العجائب . والمكان الذي تكون فيه سرعة الضوء عشرين ميلاً في الساعة هو بلد العجائب بكل تأكيد . على أية حال ، فالمقصود من القصة هو ابراز الظواهر الكونية حسب مفاهيم النظرية النسبية عندما تقارب حركة الأجسام سرعة الضوء . واسم الكتاب « تومبكن في بلاد العجائب » **Tompkin in Wonderland** . ونظراً لصعوبة الاسم في اللغة العربية نرى أن نختار اسماً عربياً على الوزن والقافية ، ونسميه « محسن » بعد الاستئذان من الاستاذ توفيق الحكيم طبعاً ، فهو بطله الذي يمثل شخصيته في رواية « عودة الروح » و « عصفور من الشرق » ولا أذكر إن كان كذلك في قصص أخرى .

وبما أن حقائق النسبية غريبة غير مألوفة بالنسبة للمفاهيم العلمية الكلاسيكية ، كقصص ألف ليلة وليلة بالنسبة لقصص الحياة الواقعية ، لهذا نستأذن القارئ في أن نروي له قصتنا على النمط نفسه .

وفي (الليلة الأولى) قالت شهرزاد : أيها القارئ السعيد ، لقد تزوج محسن سنية وعاشا معاً عيشة عادية ، وانجبا عدداً غير قليل من الأولاد ، وسكنت معهم في البيت والدة سنية . وأصبح محسن غارقاً في الديون ، لا يعرف أين يصرف راتبه الصغير ، على أولاده أو على زوجته أو على حماته . وقد أصيبت حماته بالأمراض العصبية كعادة الحموات ، فأصبحت تشكو وتتألم من أطرافها ومفاصلها آناء الليل واطراف النهار ، وأصبحت لا تكاد تستطيع الحركة ، فقد أقعدت وانهدت قواها ، وانفتح باب مصروف جديد على محسن ، فأخذ يحضر لها الأطباء واحداً بعد الآخر ويشتري لها من الادوية ما خف حمله وغلا ثمنه لكن دون جدوى . وكان

الأطباء يخبرون محسن أن مرض حماته نفساني ، وكان هو يعرف ذلك تمام المعرفة حتى قبل أن يحضرهم لها ويخبروه عن حقيقة مرضها ، ولكن ما العمل ؟ إن سنية تعتقد أن أمها مريضة ويجب معالجتها والأنفاق عليها بسخاء ، وهو إذا تأخر عن الدفع اعتبروه بخيلاً وتغيرت نظرة سنية اليه . فكان عليه أن يجاري الأمور ، كعادة كلّ الرجال في بيوتهم .

أما سنية التي عهدناها في « عودة الروح » نشيطة مثقفة ، فبعد أن تزوجت لم تعد تقرأ كتاباً ولا مجلة ، وأصبحت معلوماتها العلمية وغير العلمية مستقاة من مجالس السيدات في استقبالهن ، ونسيت جميع ما تعلمته في المدرسة . ولم تعد تؤمن بالطب الذي عجز عن شفاء والدتها . وقد زارتها الحاجة زنوبة (لم تكن قد حجت بعد في رواية عودة الروح) ذات يوم وقالت لها بأن الاماكن المرتفعة تشفي الامراض العصبية ، ونصحتها بالذهاب بوالدتها إلى جبال لبنان . فأخذت تلح على محسن بأن يقضوا عطلة الصيف هناك لعلّ والدتها تشفى . فاستدان محسن – فوق ديونه السابقة – بضع مئات من الجنيهات ، وأخذ العائلة كلها وقضوا صيفاً لطيفاً في جبال لبنان . وعاد الجميع بعد انتهاء الإجازة ولكن الحماة لم تتحسن أبداً .

وذات يوم عندما كانت سنية تخرج من باب البيت ذاهبة إلى أحد الاستقبالات سمعت « عبده » يتحدث مع بواب العمارة المجاورة ويقول :

– انت بتحسبني ايه يا اسطى عثمان ، لما تقعد تقول للواد حنفي اني شايف راسي عالي زي الأهرام ؟ انا مش شايف راسي عالي زي الأهرام وبس ، أنا شايفه عالي زي هملايا .

فأجابه عثمان بغير اكتراث :

– هملايا ايه ده ، يا واد يا عبده ؟ هوّ فيه حاجة في الدنيا اسمها هملايا ؟ مايكونش قصدك تقول جملاية ؟ وما دام كده اذكر الراجل

بتاع الجملاية ، وقول جمل وخلصنا من الفلفسة . ذكر الستات في الامثال لازمته ايه ؟

– اسمع بقى يا واد يا عثمان . أنا ما اغلطش في الكلام أبداً ، انت عارف كويس ، طوّل روحك شويه . امبارح سمعت اولاد محسن بيه وهم بيذاكروا ، بيقولوا إن أعلى جبلاية في الدنيا اسمها هملايا . وحفظت لك الاسم ده على طول . علشان هملايا دي لازم تكون كبيرة قوي .

– قصدك تقول انها أكبر من الأهرام ؟

– مش بس كده ، دي لازم تكون أكبر من خمستاشر أهرام فوق بعض ، ويمكن تكون أكبر من عشرين ، مين عارف ؟

وهنا سارت سنية في الطريق فنسكت عن الكلام الرقيق .

وفي (الليلة الثانية) قالت :

أيها القارئ السعيد ، عندما سمعت سنية الحديث بين عثمان وعبده ، أضافت إلى معلوماتها القديمة معلومات هامّة جديدة . وفي صباح اليوم التالي سألت محسن كأنها تريد أن تمتحن معلوماته (وهي في الواقع تريد أن تتأكد من صحة الأسم) عن أعلى جبل في العالم . فلما قال لها هملايا ، أبدت اعجابها بثقافته ، وبدأت منذ ذلك الحين تلح عليه بأن يذهبوا جميعاً لكي يقضوا صيفاً في جبال هملايا لعل والدتها تشفى من مرضها ؛ ولا لزوم لذكر الحجج التي ذكرها محسن ، فإن حجج الرجل مهما كانت قوية لن تقنع امرأة .

واستمر الحال على هذا المنوال سنتين أو ثلاث سنوات ، وسنية تطلب منه كلّ يوم الذهاب إلى جبال هملايا وتتهمه بأنه غير مهتم بمعالجة والدتها . حتى كان ذات يوم قرأ فيه محسن اعلاناً عن محاضرة ستلقى عن النسبية . كان محسن المسكين يذهب عادة إلى المحاضرات العامة ، فهي الترفيه الوحيد الرخيص الذي لا يكلفه شيئاً في وضعه الاقتصادي البائس . وكان مشتاقاً لسماع شيء عن النسبية بالذات ، لأنه يلمس

شيئاً من هذه المفاهيم في بيته . فحماته بالنسبة له وبالنسبة للطب والأطباء غير مريضة ، ولكنها بالنسبة لنفسها ولابنتها سنية مريضة . ومع انه لا توجد قيمة لرأي الطب ولا لرأيه في هذه الحالة الا أنه أحب الاستماع إلى المحاضرة وصمم على الذهاب لحضورها .

وكانت سنية ترافقه في كل مكان يذهب اليه بعد العمل حتى ولو إلى محاضرة . وكان لها في ذلك هدفان (الاستماع إلى المحاضرة ليس منهما) . الأول هو مراقبة عيون محسن والانتباه إلى انهما موجهتان إلى المحاضر فقط . والثاني هو رؤية آخر طراز تلبسه السيدات المستمعات ، لكي تطلب من محسن أن يشتري لها مثله ، ولكي تجد موضوعاً تتحدث فيه في الاستقبال القادم .

وحدث أن لم يكن في محاضرة النسبية أية سيدة أنيقة — وهذا ما يتوقعه القارئ السعيد — فاطمأنت على عيون محسن ، ولم تجد ثوباً أنيقاً تنظر إلى قماشه وكيفية تفصيله ، وندمت على الحضور ، ولكنها اضطرت مرغمة على الاستماع إلى المحاضرة . وكان كلّ ما فهمته منها أن هناك سفناً فضائية سوف تصدرها شركات في ظرف مدة تتراوح ما بين عشر سنوات إلى خمس عشرة سنة . فهداها تفكيرها إلى أن أحسن وسيلة لمعالجة الوالدة هي شراء واحدة منها ، ويجب حجزها فوراً .

ولما خرجا من المحاضرة ذاهبين إلى البيت ، كان محسن غارقاً في التفكير في القوانين الجديدة التي سمعها واستوعبها للمرة الاولى . وأدرك أنها القوانين التي حلت معظم الألغاز العلمية في هذا الكون . ولكن سنية كانت تلحّ عليه طول الطريق الحاحاً شديداً بأن يقدم طلباً مستعجلاً للشركة التي تصنع السفن الفضائية ، ويحجز سفينة فوراً ، لأنها تريد أن تأخذ والدتها وتقوم برحلات في الفضاء لعلها تشفى من مرضها العضال .

ومنذ ذلك الحين ، تغير نوع الاسطوانة التي كان على محسن أن يسمعها كلّ يوم عشر مرات على الأقل ، فأصبحت اسطوانة السفينة الفضائية

بدلاً من اسطوانة جبال هملايا .

هذا ما كان من أمر سنية ، يا قارئ النسبية ، فنمسك عن الاحاديث الطلية .

وفي (الليلة الثالثة) قالت :

أيها القارئ السعيد ، اضطجع محسن في فراشه ، ووضع رأسه على الوسادة ، وهو يفكر في امور ثلاثة : احدهما يقلقه ، والآخران يبعثان فيه الاعجاب . أما الذي يقلقه فهو كثرة الديون التي تتراكم عليه وتزداد يوماً بعد يوم ، والطلبات الجديدة التي تطلبها سنية وعليه تنفيذها . أي بالاختصار ، جميع ما يقلق المتزوجين الذين يعيشون على سطح الكرة الارضية ، بما في ذلك الاستاذ توفيق الحكيم نفسه الذي اخترع لنا محسن . وقد استطاع محسن أن يتصور فرضيات آينشتاين وغرابتها ، ولكنه لم يستطع أن يتصور وجود زوجة تكتفي بدخل زوجها كمصروف لها ولأولادها ولأمها .

أما الأمران الآخران اللذان كانا يستوليان على محسن ويبعثان فيه الاعجاب ، فأولهما معلومات زوجته العامة ، وثقافتها التي تتسع يوماً بعد يوم . فقد أصبحت تعرف السفن الفضائية بعد معرفتها لجبال هملايا . والمهم في معلومات السيدة سنية أنها تطبقها فوراً في حديثها دون تأخير . وهي بذلك تتميز عن غيرها من الناس الذين يعرفون معلومات يحتفظون بها نظرية فقط دون تطبيق ، فإذا عرفت جبال هملايا (حتى ولو من عبده البواب) فإنها تطلب أن تذهب اليها لمعالجة والدتها ، وإذا سمعت بالسفن الفضائية فإنها تطلب واحدة للسبب نفسه ، وإذا رأت ثوباً جميلاً طلبت مثله رأساً ، وهكذا ، فمعلوماتها كلها تطبيقية وهي دائماً في تقدم مستمر والحمد لله . شيء يثلج قلب محسن طبعاً .

وثاني هذين الأمرين هو اعجابه بالمحاضرة التي سمعها الليلة عن النظرية النسبية ، وإدراكه لغرابة قوانينها . كان يفكر فيما إذا كان باستطاعته أن

يطبق هذه المفاهيم على الأرض نفسها ويلغي المفاهيم الدارجة الأخرى . وأهم ما كان يشغله بالذات هو مفاهيم الديون . أليس من الممكن أن تطبق النسبية بحيث نلغي الديون كما ألغينا الأثير ، وأن يصبح الدين المطلق لا وجود له ؟ أو على الأقل أن تسير السندات المحفوظة ضده في المصارف والمستودعات بسرعة ٩٩ بالمئة من سرعة الضوء ليقرأها المطالبون قراءة أقل من الواقع فيطالبونه بأربعة عشر جنيهاً عن كل مئة جنيه ؟. ولكنه فكر قليلاً ووجد ان طول السند هو الذي سيتغير والكتابة ستنكمش ولكن الخبراء سيقرأون الرقم على الرغم من انكماشه .

وفجأة غط في النوم وعلا منه الشخير ، فنمسك عن الحديث المثير .

وفي (الليلة الرابعة) قالت :

أيها القارئ السعيد ، بعد أن استغرق محسن في النوم العميق ، وبعد ما عاناه من طلبات السيدة سنية لاحدى السفن الفضائية ، حلم حلماً غريباً حقاً ، وأظن القارئ لن يلومه في ذلك . فقد رأى نفسه في بلد غريب سرعة الضوء فيه عشرون ميلاً في الساعة ، وعلى ذلك فهو الحد الأقصى لأية سرعة في ذلك البلد . ونظر حواليه فرأى أن كل شيء يبدو طبيعياً : العمارات الضخمة ذات النوافذ والابواب ، والارصفة الطويلة الملاصقة لها ، والدكاكين بأبوابها الزجاجية ، حتى الشرطي الذي كان يقف تحت المظلة في منتصف الميدان كان يبدو كأي شرطي آخر . وكانت الساعة المعلقة في الميدان تشير إلى الثانية عشرة ظهراً ، ولكن الشوارع كانت خالية من المارة .

ورأى فجأة في طرف الشارع دراجة قادمة تركبها عجوز شمطاء ، فبحلق عينيه ذاهلاً ، لأن العجوز والدراجة كانتا مفلطحتين بشكل لا يكاد يصدقه العقل . فعجلات الدراجة ليست مستديرة كالعجلات التي يعرفها ، إنها بيضوية الشكل واقفة على اطرافها ولكنها مع ذلك تدور . وكان طول الدراجة من الامام إلى الخلف قصيراً جداً . وكأن شيئاً يضغطها في هذا



شكل (١١) حماة محسن على الدراجة

الاتجاه . وأدهى من ذلك وأمرّ أن العجوز كانت حماته فهو يعرفها تمام المعرفة مهما تشوهت خلقتها . إنها بعينها سوى أن أنفها الطويل قد قصر جداً وكذلك تراجع بروز خديها وحاجبيها وذقنها إلى الخلف . وكانت اذناها صغيرتين جداً باتجاه الحركة مستطيلتين باتجاه قامتها . وهذا ما زاد في دهشته فهو يعهدهما اذنين كبيرتين . ولم يكن يستطيع أن يتصور حماته إلاّ على انها اذنان كبيرتان ألصق بينهما جسم صغير ذو لسان طويل . ولم يكن الآن مجال بين فمها ومؤخرة عنقها ليتسع للسان الطويل . يجب أن يكون لسانها الآن قصيراً جداً .

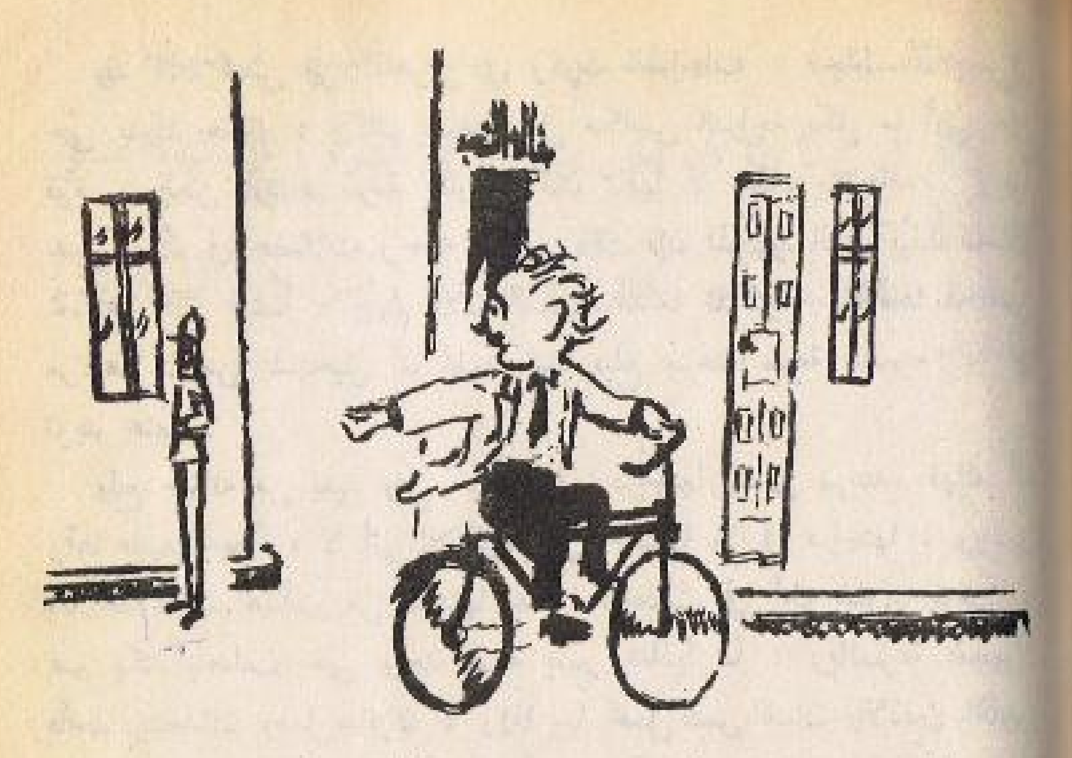
وكان يبدو عليها أنها مستعجلة جداً فهي تحرك رجليها على دواليب

الدراجة بقوة وسرعة ونشاط ، وكأنها لم تعرف الأمراض العصبية يوماً واحداً في حياتها . كانت تحاول أن تزيد في سرعتها وكلما زادتها ازداد تفلطح الدراجة وتفلطحها ، حتّى أصبحت تبدو لمحسن وكأنها صورة نزعت من حائط . وحتّى قدر محسن أن طول لسانها كاد أن يصبح صفراً .

ومحسن كالرجال الآخرين الذين يسكنون مع حمواتهم ، لا يستغرب من شيء في هذا الوجود . فما يراه وما يسمعه في بيته كان يجعله يستغرب أول الأمر ، ولكنه اعتاد بحيث أصبح لا يرى شيئاً غريباً . فكل شيء محتمل الوقوع في الكون . ولكن هذا المنظر كاد أن يبحث في نفسه الاستغراب لولا انه تذكر أنه في بلد حدّ السرعة الأعلى للطبيعة فيه هي عشرون ميلاً في الساعة فقط . فلن تستطيع أية سيارة أو دراجة أو طيارة أن تصل هذه السرعة بل ان تتعداها . ونظر إلى شرطي المرور فوجده (واقفاً) تحت المظلة غير مكترث لحركة المرور التي هو موكل فيها ، ولا يحمل في يده دفتر المخالفات لأنه متأكد من أن السيارات لن تتعدى الحدّ القانوني للسرعة ، فالطبيعة في تلك البلد هي التي توقف السائقين عند حدهم .

وفي تلك اللحظة مرّت سيارة فخمة جديدة من سيارات السباق ، كان يبدو على سائقها أنه منهمك في الضغط بقدمه على ضاغطة البترول بكل ما أوتي من قوة ، ولكن السيارة لم يكن يبدو عليها أنها تستطيع أن تزيد من سرعتها كثيراً عن سرعة الدراجة . فسيرها بطئ جداً ويبدو عليها انها تجرّ نفسها جراً .

وهنا فكر محسن في أن يتبع حماته ويتأمل منظرها وهي عديمة اللسان ، وهو منظر لا يشتهيه محسن وحده من بين المتزوجين أصحاب الحموات . فاستعار دراجة من انسان واقف على الناصية ، وركبها وأخذ يسرع خلف حماته ، وينظر إلى نفسه هل سينكمش كما انكمشت . لكنه رأى أنه



شكل (١٢) محسن على الدراجة

لم يتغير فيه شيء ، حتّى الدراجة لم تنكمش ، وظل طولها كما كانت عندما استعارها . إنما لاحظ أن العمارات المقامة على جانبي الشارع قد انكمشت عرضاً فأصبحت نحيلة وظل طولها على ما كان عليه ، والنوافذ والابواب فيها قد أصبحت مجرّد شقوق صغيرة . والشارع الذي يسير فيه رآه قصيراً جداً ، ونظر إلى الشرطي فوجده نحيلاً جداً ولم ير في حياته إنساناً أكثر نحولاً . كان كل شيء قد انكمش حوله ، وكان الانكماش يزداد كلما ازدادت سرعته .

فأدرك اللغز الآن ، وعرف السبب ، وقال لنفسه « هنا تدخل النظرية النسبية » . وأدرك أن حماته عندما كانت مارّة في الشارع أمامه رأت نفس ما رآه ، فلم تعرفه لأنه كان مفلطحاً ، ولهذا اعتقته واستمرت سائرة في طريقها .

وقد كان محسن من الماهرين في ركوب الدراجات ، فحاول أن يسرع حتى يدرك حماته ، وكان يضغط على مكابس الدراجة بكل ما أوتي من قوة . ولكن ازدياد سرعة الدراجة كان تافهاً لا يكاد يلاحظه . وبدأ يحس بالألم في عضلات رجليه ، ومع ذلك فإن المجهود الذي يبذله للحاق بحماته كان عبثاً . وفهم الآن السبب عندما تذكر جملة قالها المحاضر مؤداها أن من المستحيل أن نجد شيئاً يبلغ سرعته سرعة الضوء ، أو تزيد عنها .

ولمح حماته من بعيد وهي سائرة على دراجتها بنفس سرعته، فهاله أن رآها طبيعية جداً ، لا أثر للانكماش في جسمها ولا في دراجتها ، ويظهر أن حماته قد هدأت من سرعتها عندما انعطفت في أول شارع فرعيّ ، فلم يكد ينعطف حتى وجد نفسه يسير محاذياً لها ، وبالسرعة نفسها . فأخذا يتحدثان وهما سائران ، وإذا بها تحمل نفس اللسان والاذنين اللذين يعهدهما فيها منذ سنين . أما كلّ شيء آخر حولها فقد كان لا يزال منكمشاً .

وأخذا يتحدثان حديث الحبيب إلى الحبيب ، فنمسك عن الكلام العجيب .

وفي (الليلة الخامسة) قالت :

أيها القارئ السعيد ، ليس في نيتي الليلة أن أحدثك عن قصة محسن وحماته ، وإنما أحب أن أذكر لك شعراً يعلق به الشاعر على انكماش الاجسام مع السرعة ، قال :

ليس في الهيجا كزيد ... فسواه السيف يعصى
وإذا حرك زند ... نكص الاعداء نكصاً
مسرعاً أخذاً وردّ ... كلما أدنى وأقصى
سرعة البرق وقد ... ضلّ في الفيزياء حرصا

بانكماش فزجرالد ... سيفه أصبح قرصا

والواقع أن زيداً إذا كان يطعن بسيفه بسرعة الضوء ، فإن سيفه يصبح قرصاً لا سيفاً .

هذا ما كان من أمر انكماش الاجسام ، ومحسن لا يزال غارقاً في المنام .

القانون الثاني

زيادة الكتلة بتزايد السرعة

كنا ونحن تلاميذ في الصفوف الابتدائية نسأل بعضنا البعض : أيهما أثقل رطل القطن أم رطل الحديد ؟ ولا أريد أن أحرج القارئ فأطلب منه الإجابة على هذه الاحجية ، فقد لا يعرفها بعض القراء السعداء ، ولكني أجيب عليها – انقاذاً للموقف – بما كنا نجيب به ونحن في المدرسة بأن كلا منهما رطل ، فلا يحق لنا أن نقول ان هذا أثقل من هذا ، لأنهما متساويان .

ونحن بقولنا هذا قد نعني كتلة الرطل أو وزن الرطل في المكان الذي نقيس فيه . فالكتلة يعرّفها معلمو المدارس بأنها مقدار المادّة الموجودة في الجسم ، والوزن هو جاذبية الأرض لذلك الجسم . والكتلة في جسم معين لا تتغير مع البعد أو القرب من مركز جاذبية الأرض ، بينما الوزن يتغير . وعلى ذلك ، فإن إجابتنا عن الاحجية السابقة قد لا تكون صحيحة مئة في المئة .

لنفرض أننا كنا على سطح البحر ووزنّا رطل قطن ورطل حديد بأن وضعنا كلاً منهما في كفة ميزان عاديّ ، وتأكدنا من أنهما متساويان

وزناً ثم وزناهما بميزان لولبي (زنبلكي) فنجد أن عداد الميزان الزنبلكي يسجل القياس نفسه لكل منهما ، ويشير إلى رقم الرطل .

والآن لنأخذ رطل القطن ورطل الحديد والميزانين إلى غور الاردن على شاطئ البحر الميت (أي اننا اقتربنا من مركز جاذبية الأرض) . فإذا وضعناهما في كفتي الميزان العادي نجد أنهما متساويان وزناً ، وإذا وضعناهما في الميزان الزنبلكي نجد أن وزن كلٍّ منهما يشير إلى رقم أكبر من رطل .

ويمكن أن نصعد بهما إلى قمة جبل عال فنجد أن وزن كلٍّ منهما أصبح أقل من رطل وأنهما متساويان بالميزان العادي . والسبب في ذلك هو ان الجاذبية التي تخف وتزيد حسب ابتعادنا أو اقترابنا من مركز الأرض يكون لها نفس الأثر على الحديد والقطن في الميزان العادي ، فيخفان معاً ويثقلان معاً ، بينما يدل الميزان الزنبلكي على مقدار جذب الارض لهما ، ولهذا تختلف قراءته حسب الانخفاض والارتفاع .

ويمكن عندئذٍ أن نقول إن رطل القطن في غور الاردن أثقل من رطل الحديد في القدس .

وبعبارة أخرى ، فإن الميزان العادي يسجل الكتلة أما الميزان الزنبلكي فانه يسجل الوزن . والكتلة لا تتغير بالارتفاع والانخفاض .

إذن كيف نعرّف الكتلة تعريفاً أصح من الأول ؟

يقول الفيزيائيون إنها مقدار مقاومة المادّة للتسارع ، أي إذا كان لدينا آلة بخارية وجعلناها تسحب عربة واحدة من عربات القطار فإنها قد تسرع بهـا سرعة كبيرة ، ولنفرض أنها تبلغ مئة ميل في الساعة بعد خمس دقائق ، ولكن إذا جعلنا الآلة نفسها تسحب عشر عربات فإنها قد لا تستطيع أن تصل حتى إلى سرعة خمسين ميلاً في الساعة بعد مرور خمس دقائق . ونقول عندئذ إن كتلة العربات العشر أكبر من كتلة العربة الواحدة (وكأننا قد اكتشفنا اكتشافاً خارقاً عندما قلنا هذه الجملة) أي أن العشر عربات تقاوم التسارع أكثر من الواحدة .

ومن المفروض في الفيزياء الكلاسيكية أن الكتلة ثابتة لا تتغير سواء كانت واقفة أم متحركة ، إنما قد يتغير وزنها فقط .

ولكن النظرية النسبية تقول إن الكتلة تتغير بالحركة ، وتزداد كلما زادت السرعة . وتعطينا القانون لمقدار التغير كما يلي :

$$\text{ك}' = \frac{\text{ك}}{\sqrt{1 - \frac{\text{ف}^2}{\text{س}^2}}}$$

حيث ك' = الكتلة الجديدة في سرعة « ف » ، و « ك » الكتلة القديمة قبل تحركها بسرعة « ف » .

ولنعد إلى مثلنا الأصلي ذي السفينتين الفضائيتين (شكل ٩) . ولنفرض أننا وزنا ا ، ب عندما كانتا على الارض فوجدنا أن كلاً منهما تزن ألف رطل . فإذا تمكن « ا » أن يقيس كتلة « ب » بأن يحاول ايقافها أو ما شابه ذلك من الوسائل وهما تبتعدان أو تقتربان بسرعة « ف » ، فسيجد أن الكتلة قد زادت بحسب القانون المذكور أعلاه .

فإذا كانت السرعة النسبية بينهما « ف » = ٩٣٠٠٠ ميلاً-ثانية .

فسوف يجد أن كتلة « ب » قد أصبحت كما يلي :

$$\text{ك}' = \frac{١٠٠٠}{\sqrt{1 - \frac{(٩٣٠٠٠)^2}{(١٨٦٠٠٠)^2}}}$$

= ١٢٠٠ رطلاً .

وإذا كانت السرعة النسبية بينهما ١٦١٠٠٠ ميلاً-ثانية ، فسيجد أن كتلة

« ب » أصبحت ٢٠٠٠ رطلاً . وهكذا فكلما ازداد الفرق ما بين سرعتيهما فسوف تزيد كتلة « ب » في نظر « ا » حسبما تشير اليه المعادلة .

والشيء نفسه يقال فيما لو اراد « ب » أن يقيس كتلة « ا » .

ولنفرض الآن أننا نريد تطبيق المعادلة ، والسفينتان ا ، ب واقفتان على الأرض ، أي أن سرعتهما النسبية صفر ، فسنجد في المعادلة أن المقام كله يساوي واحداً ، وعلى ذلك فإن ا سيجد أن كتلة ب ألف رطل ، و « ب » سوف يجد الرقم نفسه في كتلة « ا » ، ولا يهمنا في هذه الحالة إذا كانت الأرض تتحرك بهما بالنسبة لنظام آخر من الانظمة الشمسية .

وبالاضافة إلى ذلك فإن كلا من ا ، ب ، إذا أراد أن يقيس كتلة نفسه فسيجد أنها دائماً ١٠٠٠ رطل ، لا تتغير مهما اختلفت سرعته ، لأن سرعته بالنسبة لنفسه دائماً صفر .

وعلى ذلك يمكننا أن نضع القانون بالكلمات التالية : **إذا ما تحرك جسم بالنسبة لمشاهد ، فإن كتلة الجسم ستزداد ويعتمد مقدار الزيادة على السرعة النسبية بين المشاهد والجسم .**

ومن اللطيف هنا أن نذكر أن بعض ذوي الاجسام الضخمة يحاولون أن ينقصوا من كتلتهم بالقيام بتمارين رياضية عنيفة ومنها الركض ، ولكنهم لا يعلمون أنهم أثناء الركض سوف تزيد كتلتهم كلما زادت سرعتهم !

ولنفرض أن رجلاً (أو امرأة) كتلته ٣٠٠ رطل انكليزي ، وراح يركض بسرعة خمسة عشر ميلاً في الساعة ، فكم ستصبح كتلته وهو يركض . إذا كنت ماهراً في الرياضيات — وادعو إلى الله تعالى أن تكون كذلك — فيمكنك أن تحل المسألة بتطبيقها على المعادلة ، وستجد أن كتلته تزيد جزءاً واحداً من مليون المليون جزء من الاوقية الانكليزية (والأوقية تساوي حوالى ٣٠ غراماً) أي ٠,٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠١ أوقية ، وستزيد الكتلة أكثر من ذلك إذا زادت سرعته كأن يكون لصاً يتبعه شرطي . وبحسب السرعة

التي تفرضها تستطيع أن تحسب الآن تغيّر أيّ كتلة ، فقد أصبحت مطمئناً عليك أيها القارئ .

وما دمت قد وصلت أيها القارئ السعيد إلى هذه الدرجة من العلم ، وأصبحت تحسب ازدياد الكتلة بالنسبة للسرعة ، فإياك أن تخيب ظني فيك وتظن أن كتلة الجسم المزدادة تعني أن حجم الجسم قد زاد ، وإذا ظننت هذا كان معناه انك قد نسيت القانون الأول الذي يتكلم عن انكماش الاجسام مع الحركة ، ومعنى هذا أيضاً أننا نتعب أنفسنا فنعلمك قانوناً فتنسى الذي قبله ، وما تكاد تنهي آخر صفحة من هذا الكتاب حتى تكون قد نسيت كل شيء . ومن يدري ؟ لعل ذلك أفضل ؟

المهم أن نعرف الآن أن الجسم مع السرعة ينكمش وتزداد كتلته في الوقت نفسه ، وإذا ازدادت سرعته كثيراً انكمش كثيراً وزادت كتلته كثيراً . أفهمت ؟ هذه هي عجائب العالم الفيزيائي الذي نعيش فيه ، كما تكشف عنها النظرية النسبية . وما لنا باليد حيلة .

وقبل أن نترك الحديث عن هذا القانون ، نطلب اليك أن تحلّ المسألة إذا ما كانت السفينة الفضائية « ب » تسير بسرعة الضوء (وأظن أننا تفاهمنا من قبل على أن السير بسرعة الضوء مستحيل) فكم ستكون كتلتها في نظر « ا » ؟

سنجد أن مقام المعادلة قد أصبح صفراً . وعندما نقسم البسط عليه يكون الجواب « إلى ما لا نهاية » ، أي أن كتلة « ب » أصبحت لا نهائية ، أي أكبر من كتل الكواكب والشمس ونجوم مجرتنا ونجوم جميع المجرات الأخر ، لأن الفلكيين بطرقهم البارعة يستطيعون أن يحسبوا كتل جميع الاجرام الفلكية ويعطونك رقماً تقديرياً لها . ولكنهم إذا اجتمعوا هم والرياضيين فلن يستطيعوا أن يحسبوا كتلة « ب » وهي تسير بسرعة الضوء لأنها ستصبح عندئذ أضخم من كلّ حساباتهم .

وبهذه المناسبة ، فإذا كان القانون الأول لا يزال عالقاً بذهن القارئ ،

وأراد أن يحسب طول السفينة « ب » وهي بسرعة الضوء فيجد أن طولها يساوي صفراً ، أي انها انكمشت حتى تلاشت !

فتأمل معي كتلة لا نهائية وطول صفر لجسم من الاجسام !! إنني شخصياً لا أستطيع ان أتأمل ذلك ، فأرجوك أن تتأمل عني !

لكننا لا يجب أن نلوم النظرية النسبية لأنها تضع حداً لمثل هذه التأملات ، حينما تقول بأن من المستحيل على أي جسم ماديّ أن يسير بسرعة الضوء . فتأملاتنا هذه إذن هي ضرب من المستحيل .

وفي (الليلة السادسة) قالت :

أيها القارئ السعيد ، إنني لأشفق في الواقع على محسن عندما يرى حماته مفلطحة ويظن أن لسانها قد قصر أو كاد يتلاشى . وهذه الميزة الظاهرية هي التي جعلته يتبعها رغبة منه في أن يراها ولا لسان لها . لم يكن يذكر آنذاك قانون ازدياد الكتلة بزيادة السرعة ، ولو ذكر ذلك لظل في مكانه أو اتجه إلى الشارع المعاكس . إنه يعرف لسانها تمام المعرفة عندما تكون السرعة النسبية بينهما صفراً . كان ذلك اللسان يصدر كلمات كلذع السياط . وقد تذكر القانون الثاني عندما كانت قد رأته فلم يستطع الرجوع ، فما هي الكلمات التي سيصدرها الآن بعد ازدياد كتلته ؟ وقى الله محسن كل شر .

ولكنه ما كاد يصلها ويمشي محاذياً لها ، ووجد أن حجمها أصبح طبيعياً حتى قدر أن تكون كتلة لسانها طبيعية ، وذلك لأن السرعة النسبية بينهما أصبحت صفراً ، وهكذا حفظ الله محسن وأنقذه .

إلاّ أنه كان يشتهي من صميم قلبه أن تصطدم حماته بإحدى الشجرات المنكمشة على جانبي الطريق ، لا حبّاً في إيقاع الأذى ، وإنما ليرى كتلة حماته بالنسبة للشجرة . ولكي يطبق القانون الثاني حق التطبيق . ولكن الحظ الثاني لم يسعفه . فبقي القانون الثاني نظرياً لم يعرف تطبيقه عملياً ، والآن نمسك عن الكلام آنياً .

اثباتات القانون الثاني :

إن العالم لم يصفق لآينشتاين لأنه كان يتحدث كلاماً نظرياً وحسب ، إنما صفق له لأنه قدم الحلول لمعضلات لم يكن لها حلّ بغير النظرية النسبية . وهذه الحلول عادة تؤخذ على أنها اثبات لصحة النظرية .

وبينما نجد أن القانون الأول هو أقل قوانين النظرية النسبية حظاً من حيث افتقاره إلى البراهين ، نجد أن القانون الثاني هو أغناها وأوفرها حظاً من هذه الناحية . أرأيت أيها القارئ ؟ قانونان اخوان ، أبناء نظرية واحدة أحدهما فقير والآخر غني ، هذه هي الحياة .

الاثبات الاول

وقد جاء **أول اثبات** لزيادة الكتلة بتزايد السرعة أيام مولد النظريةالنسبية الخاصة ، عندما كان كوفمان **Kaufmann** يقوم بتجاربه على المواد المشعة ١٩٠٤ — ١٩٠٦ ، وكان بوخرر **Bucherer** يقوم بالتجارب نفسها ١٩٠٩ . كانا يقومان بتجارب على أشياء لا صلة لها بالنظرية النسبية ، أو هكذا كانا يظنان . كان من المعروف آنذاك أن بعض المواد — كالراديوم مثلاً — تشع باستمرار وتقذف بثلاثة أنواع من الأشعة تسمى ألفا وبيتا وجاما (أي ا ، ب ، ج باللغة العربية ؛ ولكن العلماء مهما كانت جنسيتهم يفضلون أن تكون اسماء مكتشفاتهم باليونانية ، أو اللاتينية ، ويفتشون على أكثرها تعقيداً) . وكان هذان العالمان يبحثان في أشعة بيتا (أو جسيمات بيتا) ويحاولانأن يعرفا ما طبيعتها . وأثناء تجاربهما درسا سرعة هذه الجسيمات عندما تنقذف من المواد المشعة ، ودرسا كمية الشحنة الكهربائية التي تحملها ودرسا كتلة كل جسيم .

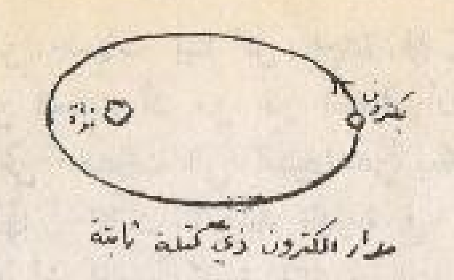
كانت السرعات التي وجداها يمكن مقارنتها مع سرعة الضوء . **ووجدا أن السرعة كلما ازدادت تزداد معها كتلة الجسيم** . وبناء على ذلك فقد

وجدا عدداً عديداً من جسيمات بيتا كل واحدة لها كتلة تختلف عن الأخرى . وبدا لهذين العالمين أن من غير المعقول أن تكون أشعة بيتا تحتوي على عدد كبير من الجسيمات التي تختلف عن بعضها البعض وتكوّن في النهاية الأشعة نفسها . كانت الفيزياء الذرية في مولدها آنذاك ؛ وكان العلماء يعتقدون بأن المادة مكونة من جسيمات صغيرة عديدة معظمها متشابه .

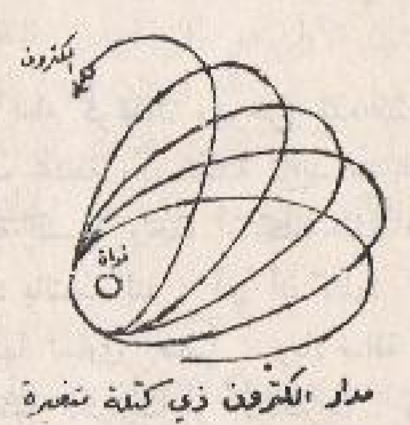
كان التفسير الوحيد امام كوفمان وبوخرر لهذه الظاهرة هو أن جسيمات المواد المختلفة لها سرعات مختلفة وأن الكتلة تزيد مع السرعة . وحين طبقا القانون الثاني من النظرية النسبية وجدا أن كتلة هذه الجسيمات واحدة عندما يكون الجسم غير متحرك بالنسبة لنا ، أي أن كتلها كلها متساوية عندما تكون السرعة النسبية بينها تساوي صفراً . وبالاضافة إلى ذلك وجدا أن كتلة جسيم بيتا يساوي كتلة الكهرب أو الالكترون . وعندما وجدا ان هذا الجسيم يحمل نفس الشحنة التي يحملها الالكترون عرفا عندئذ أن أشعة بيتا الغامضة ما هي إلاّ الكترونات منطلقة من المواد المشعة بسرعة عالية . كانت هذه النتيجة هي أول إثبات للقانون الثاني من النظرية النسبية الخاصة .

والاثبات الثاني

هو نظرية سمرفيلد عن المدارات الذرية التي نشرها صاحبها بسنة ١٩١٦ . وقبل نشرها كانت نظرية بور **Bohr** تصور أن الذرة تتكون من نواة في المركز تدور حولها الالكترونات في مدارات دائرية . ولكن سمرفيلد قال بأن الأصح هو أن الالكترونات تدور في مدارات بيضوية حول النواة التي تقع في أحد مركزي الشكل البيضوي ، بالطريقة التي تدور فيها الكواكب حول الشمس (شكل ١٣)



مدار الالكترون ذي كتلة ثابتة



مدار الالكترون ذي كتلة متغيرة

شكل (١٣)
مدار الالكترون

ولقد بيّن لنا كبلر **Kepler** سنة ١٦٠٩ ، أن الكوكب الدائر حول الشمس تزيد سرعته وتنقص اثناء الدورة الواحدة بحسب قربه أو بعده عن الشمس في المدار البيضوي الذي يدور فيه ؛ والفرق بين الحد الأعلى في سرعته والحد الادنى فيها يكون كبيراً كلما ازداد تفلطح المدار (أي كلما استطال شكله) . وفي الواقع ان سرعة الارض حول الشمس تتراوح ما بين ١٨٫٥ ميلاً في الثانية و ١٩ ميلاً في الثانية . وهذا الفرق الضئيل سببه أن مدار الأرض حول الشمس ليس مستديراً كامل الاستدارة.

وبما ان السرعة تتغير في المدارات البيضوية الشكل ، كما أثبت كبلر ، فإن المعادلة الثانية تقول بأن كتلة الكوكب أو الالكترون يجب أن تتغير أيضاً . وكلما زاد التغير في السرعة زاد التغيّر في الكتلة . وهذا التغير

ضئيل جداً في الكوكب بحيث لا تستطيع أرصادنا أن تكتشفه ، لأن الكوكب يسير ببطء شديد بالنسبة إلى سرعة الضوء . أما الالكترون فمعدل سيره في مداره حول النواة حوالى جزء من مئة من سرعة الضوء ، ولهذا يمكن اكتشاف الفرق في السرعة وتغير الكتلة المترتب عليه . وقد أثبت سمرفيلد حسابياً أن تغيّر كتلة الإلكترون المتعاقب سوف لا يتركه يدور في المدار البيضوي نفسه ، وإنما يجب أن ينفتل المدار البيضوي بالتدريج (شكل ١٣) .

وعلى ذلك ، فإن معرفتنا لهذه الحقيقة أصبح يعتمد على ما إذا كنا سنثبت أن الالكترون يدور في مدار بيضوي ثابت حول النواة ، وستكون عندئذ كتلته ثابتة ، أو أن المدار البيضوي ينفتل محوره شيئاً فشيئاً وتكون كتلته متغيرة . وإذا أثبتنا الاحتمال الأخير فسيكون اثباتاً للقانون الثاني من النظرية النسبية .

وقد يبدو لأول وهلة أن معرفة هذه الحقيقة ضرب من المستحيل ، فلا نستطيع أن نرى الذرة أو الالكترون ونتكلم عن شكل المدار حتى بأكبر الميكروسكوبات . ولو استطعنا أن نرى النواة فلن نرى الالكترون لسرعته الشديدة التي تبلغ جزءاً من مئة من سرعة الضوء .

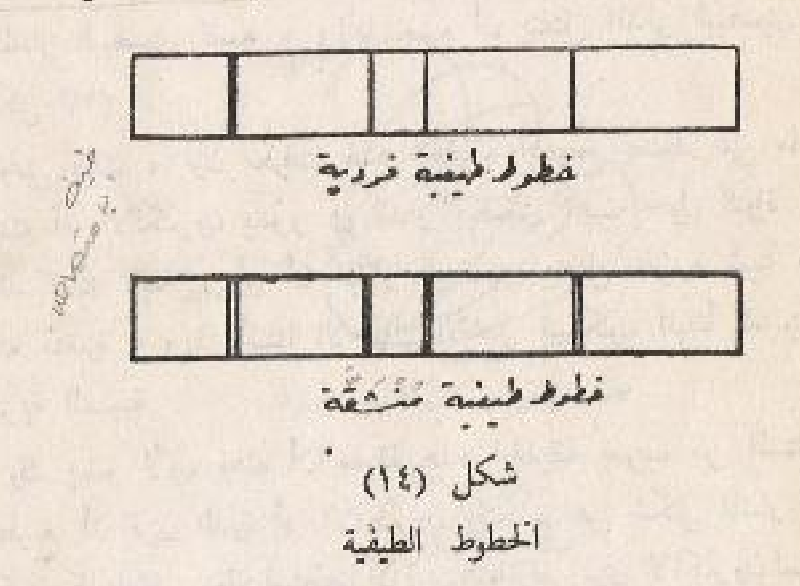
ولكن هل نظن امراً كهذا يعجز العلماء ؟ ليس من الضروري أن يروا الشيء لكي يحكموا عليه ؛ فانظر كيف يتسلسلون .

هنالك آلة اسمها « محلل الطيف » تتكون من قطعة من الزجاج على شكل اسفين غليظ إذا دخلها الضوء تحلل إلى ألوان مختلفة هي : الأحمر والبرتقالي والأصفر والازرق والنيلي والبنفسجي . وقطعة الزجاج هذه تعمل ما تعمله قطيرات المطر الصغيرة السابحة في الغيوم عندما تحلل اشعة الشمس وتكوّن قوس قزح .

وعندما تنظر خلال محلل الطيف وترى هذه الألوان الجميلة تجد خلالها حزماً سوداء طولية تختلف سمكاً وموضعاً حسب المادة التي تتخللها أشعة

الضوء . وتسمى هذه الحزم « الخطوط الطيفية » .

وقد أثبت سمر فيلد بحساباته أن الخطوط الطيفية يجب أن تكون إحدى حالتين : يجب أن تكون مجرد خطوط فردية ، إذا كان الالكترون يدور في مدار ثابت حول النواة وكانت كتلته لا تتغير ، أو أن تكون خطوطاً منشقة طولياً إذا كان الالكترون متغير المدار متغير الكتلة بتغير السرعة .



شكل (١٤)
الخطوط الطيفية

وعلى ذلك فقد أصبحنا ننتظر المعرفة الأكيدة عن الخطوط الطيفية هذه لنرى فيما إذا كانت فردية فيكون الاختبار عديم القيمة للنظرية النسبية. أو ان تكون منشقة وفي هذا اثبات للقانون الثاني منها .

ولكن انشقاق الخطوط الطيفية اكتشفه باشين **Paschen** سنة ١٩١٦ عندما كان يبحث طيف الهيليوم ، وأعلن عن اكتشافههذا قبل أن ينشر سمرفيلد نظريته بشهر واحد . وبهذا تأكدت صحة النظرية . .

أما **الاثبات الثالث** الذي سنورده هنا فهو بخصوص المسارعات الذرية **Atomic Occelerators** . فقد بنيت آلات ضخمة لتحطيم الذرة والبحث عن تركيب نواتها . والغرض الرئيسي من هذه الآلات هو أن تسارع جسيمات الذرة المختلفة حتى تصل إلى درجات عالية من السرعة . وكلما

كانت الآلات أضخم كلما استطعنا أن نصل بالجسيمات إلى سرعة أكبر ، وكلما ازدادت السرعة ازدادت الكتلة بناء على القانون الثاني من النظرية النسبية الخاصة .

وفي أوائل سنة ١٩٥٢ أعلن المختبر الوطني في بروكهافن **Brookhaven Nationl Laboratory** انه استطاع أن يسارع البروتون (نواة ذرة الهيدروجين) حتى وصلت سرعته ١٧٧٠٠٠ ميلاً–ثانية أي حوالى ٩٥ بالمئة من سرعة الضوء . ونتيجة لذلك فإن كتلة البروتون زادت ثلاثة أضعاف . وفي حزيران سنة ١٩٥٢ أعلن معهد التكنولوجيا في كاليفورنيا **California Institute of Teehnology** بأنهاستطاع أن يسارع الالكترون حتى وصل به سرعة تقل عن سرعة الضوء بعشر ميل في الثانية ، أو ٠,٩٩٩٩٩٩٩ س . فزادت كتلة الالكترون ٩٠٠ مرة .

وإذا كنت بعد هذا كله لم تقتنع بكل هذه الاثباتات أيها القارئ السعيد فاقترح عليك أن تنشيء بنفسك مسارعاً ذرياً لترى صحة هذا القول بأم عينك .

القانون الثالث

جمع السرعات

١ + ١ ـ ١

٠,٩ + ٠,٩ = ٠,٩٩٤٤

٠,٥ + ٠,٥ ـ ٠,٨

هذه مسائل في الجمع ، لو نظر اليها الطالب في المدارس الابتدائية ، لاستغرب من جهل الذي جمعها . إذا اضفت واحداً إلى واحد فسيكون الناتج اثنين ، وهل هنالك شك ؟ وإذا وضعت المسألة الأولى امام ابنك الذي لم يدخل المدرسة بعد ، فسوف يحلّها . وهو يحلّها في الواقع يومياً عندما يطلب منك أو من أمه تفاحة ثم يطلب تفاحة أخرى ويقول أريد اثنتين . أما الكبار — واعني اولئك الذين اكملوا مرحلة التعليم — فمن العار أن تسألهم حلّ هذه المسالة . لأنهم يتصورون أنك تهزأ بهم إذا فعلت ذلك ، إذ من المفروض أن يعرفوا جمع أعداد أكبر من الواحد ، فمنهم من يعرف جمع الأرقام حتى العشرة شفوياً دون استعمال القلم والورق ، ومنهم من أوتي من الموهبة ما يجمع بها حتى العشرين أو أكثر ، والله أعلم .

المهمّ أننا متفقون على جمع واحد وواحد ، متفقون بحيث نعتبر هذا الأمر بديهياً لا حاجة بنا إلى البحث فيه ، ومن يخالف ذلك نعتبره جاهلاً جداً أو أقل من أن يكون جاهلاً جداً ! فكلمة « اثنان » وضعت في الأصل لتدل على واحد أضيف اليه واحد ! هل لديك شك في هذا الحساب أيها القارئ ؟ ولا أنا .

ولكن يأتي آينشتاين فيقول إن هنالك احدى الحالات التي يكون فيها ١ + ١ ـ ١ . فيصفق له العلماء ويعتبرونه عبقري زمانه !!

إن الشيء الوحيد الذي تبقى لنا مما تعلمناه في المدرسة هو جمع هذه الاعداد البسيطة وطرحها — كما سبق أن قلنا — ولكن الاستاذ آينشتاين يرينا أن علمنا حتى في هذه الأشياء البسيطة ليس دائماً كذلك ، وهنالك حالات يكون فيها هذا العلم مشكوكاً في أمره .

وقد قلنا فيما سبق أن الفرض الثاني الذي اعتمد عليه آينشتاين عندما وضع النظرية النسبية هو ثبات سرعة الضوء بالنسبة للمشاهد مهما اختلفت السرعة النسبية بين المشاهد وبين مصدر الضوء . وقد قلنا أيضاً ، أن هذه الظاهرة (ثبات سرعة الضوء) هي الشيء المطلق الوحيد في النظرية النسبية .

وأظننا لا نزال نذكر السيارة التي كنا نركبها بسرعة مئة ميل في الساعة ، والسيارة الأخرى التي قابلتنا سائرة إلى الجهة المعاكسة بسرعة مئة ميل في الساعة (وهاتان السرعتان بالنسبة للأرض طبعاً) ، وقلنا إن سرعتنا بالنسبة لبعضنا البعض هي مئتا ميل في الساعة . وقد وصلنا إلى هذه النتيجة بأن أضفنا سرعة سيارتنا بالنسبة للارض إلى سرعةالسيارة الثانية بالنسبة للارض، كما يلي :

سرعة سيارتنا بالنسبة للارض + سرعة السيارة الأخرى بالنسبة للارض — السرعة النسبية بين السيارتين .

وإذا فرضنا أن سرعة سيارتنا هي (ف) وسرعة السيارة الأخرى فَ ،

كانت السرعة النسبية بينهما كما يلي :

ف + فَ = السرعة النسبية بين السيارتين .

وقلنا أيضاً أن هذه المعادلة سارية المفعول إذا كانت السيارتان تسيران في اتجاهين متعاكسين . أما إذا كانتا تسيران في اتجاه واحد فاننا عندئذ نطرح صغرى السرعتين من أكبرهما .

ولنعد إلى السفينتين الفضائيتين (شكل ٩) . ولنفرض أنك بنيت مرصداً فخماً فوق سطح المسارع الذري الذي اقمته في الفصل السابق ، وأخذت تراقب السفينتين الفضائيتين ا ، ب . كانت سرعة ا بالنسبة لك مئة ألف ميل في الثانية وسرعة ب بالنسبة لك مئة ألف ميل في الثانية ، وكل منهما تسير في اتجاه معاكس للأخرى . هكذا سجلت لك آلات مرصدك الدقيقة جداً والتي لا يشك في قياساتها أحد . فكم ستكون السرعة النسبية بين السفينتين ؟ إننا لا نشك في معلوماتك الحسابية ولهذا ستقول :

سرعة ا + سرعة ب = السرعة النسبية بينهما .

أي ١٠٠٠٠٠ + ١٠٠٠٠٠ = ٢٠٠٠٠٠ ميل في الثانية .

ومعنى هذا انك تقول إن سرعتهما النسبية أكبر من سرعة الضوء ! فهل أنت مصمم على هذا الجواب ؟ !

إن آينشتاين لا يعجبه هذا الحساب كله ، وسيقول عنا اننا نفكر بعقل ذي ابعاد ثلاثة ، وهذا ما يعطينا النتائج الخاطئة التي وصلنا اليها ، ثم ألم يقل لنا فيما سبق – أكثر من مرة – بأن من المستحيل أن يسير جسم بسرعة الضوء ؟ فكيف بسرعة أكبر منها ؟ !

ولكنه لا يتركنا في حيرة ، انما يعطينا الحساب الصحيح الذي نحل به مشكلة جمع السرعات دون أن نتعدى سرعة الضوء بحال من الأحوال . ويقول إن السرعة النسبية بين جسمين سائرين في اتجاهين متعاكسين هي ليست حاصل جمع السرعتين كما كنا نعتقد وإنما هي تتبع القانون التالي:

$$\text{السرعة النسبية بين جسمين} = \frac{\text{ف} + \text{فَ}}{1 + \frac{\text{ف} \times \text{فَ}}{\text{س}^2}}$$

حيث ف هي سرعة الجسم الأول بالنسبة لثابت ، فَ سرعة الجسم الثاني بالنسبة للثابت ؛ س سرعة الضوء .

وبناء على ذلك ، إذا أردنا أن نحسب السرعة النسبية ما بين ا ، ب عندما كانت تسير كل واحدة منهما بسرعة مئة الف ميل في الثانية في اتجاه معاكس للاخرى فسنجد أن التعويض يعطينا المعادلة التالية :

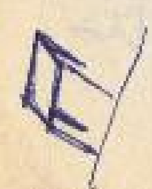
$$\text{السرعة النسبية بين ا ، ب} = \frac{100000 + 100000}{1 + \frac{100000 \times 100000}{186000 \times 186000}}$$

= ١٥٥٠٠٠ ميلاً – ثانية .

وهكذا .

وهذا القانون هو قانون عام شامل ينطبق على جميع السرعات في الكون مهما كانت ، وينطبق حتى على السيارتين اللتين كانتا تسيران بسرعة مئة ميل في الساعة بالنسبة للأرض . وإذا عوضنا رموز القانون في حالة هاتين السيارتين فسنجد عندئذ أن السرعة النسبية بينهما سوف لا تكون مئتي ميل في الساعة كما كنا نظن وانما سوف تقل عن هذا الرقم بمقدار جزء من مليون من البوصة (الانش) . وما صغر هذا الرقم إلا لأن السرعة النسبية بين السيارتين هي ضئيلة جداً إذا ما قيست بسرعة الضوء . ولذلك فإننا لا نجد أثراً ملحوظاً لهذا القانون في حياتنا العادية ، ولكن الفرق سيكون ملحوظاً كلما قاربت السرعة سرعة الضوء .

ولنفرض الآن أن كل سفينة فضائية تسير بسرعة ٠,٩ س (أي ٠,٩ سرعة الضوء) فما هي السرعة النسبية بينهما ؟



يمكنك أن تعوض رموز المعادلة بنفسك وستجد أن الجواب سيكون ٠,٩٩٤٤ س أي عندما نجمع ٠,٩ مع ٠,٩ سيكون الجواب ٠,٩٩٤٤،

ولنفرض فرضاً آخر ، (وهو مستحيل طبعاً) بأن كل سفينة كانت تسير بسرعة الضوء . فماذا ستكون السرعة النسبية بينهما ؟

سنجد بالتعويض أن الجواب هو (س) وايضاح ذلك كما يلي :

$$\text{السرعة النسبية} = \frac{س + س}{1 + \frac{س \times س}{س^2}}$$

$$= \frac{2س}{2} = س$$

أرأيت أيها القارئ السعيد ، أنك إذا ما أضفت سرعة جسم سائر بسرعة الضوء إلى سرعة جسم آخر سائر بالسرعة نفسها فسيكون الناتج سرعة الضوء ، أو بعبارة أخرى هل رأيت كيف يقول لنا آينشتاين ان ١ + ١ = ١

وهل تعلم ان علماء الفيزياء في العالم يصفقون لآينشتاين على وصوله إلى هذه النتيجة !؟ ونحن القراء المساكين مضطرون للتصفيق للرجل نفسه لوصوله إلى هذه النتيجة أيضاً ؟ ولكن إذا ما عاد المرء منا إلى بيته فسأل ابنه الذي لم يدخل المدرسة بعد ، عن حاصل جمع واحد وواحد ، وأجابه ابنه بالنتيجة نفسها ، صفعه على صدغه صفعة لا ترحم ! فعلينا إذن أن لا نستعجل الامور ، وإذا ما سألنا أطفالنا أن يجمعوا واحداً إلى واحد واجابوا بواحد ، علينا أن نتوسم فيهم النباهة ونتأمل الخير ، فمن يدرينا ، لعلهم يفكرون ساعة الاجابة تفكيراً نسبياً ، ولعل واحداً منهم يأتي بنظرية أروع مما جاء به آينشتاين . فيثبت لنا مثلاً أن واحداً وواحداً يساويان صفراً . فلنتوكل على الله .

اثبات القانون الثالث :

عندما تكلمنا عن أثر وجود الأثير في الفيزياء الكلاسيكية ، قلنا بأن العلماء كانوا ينتظرون أن تتغير بؤرة التلكسوب الموجه إلى نجم معين كل ستة شهور ، وذلك لأن الأرض تسير في اتجاهين مختلفين كل ستة شهور (شكل ٣) . ولكنهم لم يلاحظوا هذا الفرق . وبما أن وجود الأثير أمر لم يكن مشكوكاً فيه ، فقد طلع بعض العلماء بنظريات جديدة لتفسير هذه الظاهرة ، ومرّ بنا اسم العلامة فرزنل الذي قال بأن الأثير ينسحب خلف الأجسام المتحركة فيه ، كما ينسحب الماء خلف السفينة . وهذا يفسر عدم تغير بؤرة التلسكوب ، إذ أن انسحاب الاثير خلف علسته (أي عدسة التليسكوب) بمقدار معين ، سيعوض في سرعة الضوء التي كنا ننتظر ان تتغير . وقد سمّي هذا المقدار المعيّن « عامل سحب فرزنل (Fresnel Drag Coefficient) ، وقد وضع له فرزنل المعادلة التالية :

$$1 - \frac{\text{مربع سرعة الجسم}}{\text{مربع سرعة الضوء}}$$

أو بالرموز $1 - \frac{ف^2}{س^2}$ حيث ف هي سرعة الجسم السائر .

وقد وجد آن ادخال هذا العامل في حساباتنا سوف يعطينا سرعة ضوء ثابتة بالنسبة لعدسة التلسكوب .

وقد كان عامل فرزنل نظرياً محضاً لا اثبات له ، وقد وضع لتفسير ظاهرة عدم تغير بؤرة التلسكوب مع الريح الاثيرية وعكسها . وقد فسّر هذه الظاهرة تفسيراً كافياً ، إلاّ أنه في الواقع كان رقعة في ثوب الفيزياء المهلهل . على أية حال ، فقد قام فيزو (صاحب الاختبار الشهير لقياس

الضوء) بتجربة لاثبات صحة عامل فرزنل ، فقاس سرعة الضوء في تيار من الماء ، مرّة عكس التيار ومرّة مع التيار . فوجد أن عامل فرزنل صحيح كما لو كان تيار الماء يسحب الأثير وراءه .

إن عامل فرزنل يرينا أن السرعة النسبية بين جسمين متحركين في اتجاهين متعاكسين هي أقل من مجموع سرعتيهما . وإذا أردنا تطبيق عامل فرزنل على السفينتين الفضائيتين ا ، ب (وهذا مخالف للمعقول لأن فرزنل وضع عامله بناء على وجود الأثير) فسنجد أن :

السرعة النسبية بين ا ، ب $= \text{ف} + \text{فَ} \left(1 - \frac{\text{فَ}^{2}}{\text{س}^{2}} \right)$

حيث ف = سرعة ا ؛ فَ = سرعة ب ، س = سرعة الضوء

ويبدو أن هذه المعادلة تختلف عن القانون الثالث الذي ذكرناه . وبالاضافة إلى ذلك فإن تجربة فيزو لقياس سرعة الضوء في الماء أثبتت صحة عامل فرزنل . إذن ما هو الصحيح ؟ هل نعتبر القانون الثالث من النسبية الخاصة هو المغلوط وأن قانون فرزنل القائم على اعتبار وجود الأثير هو الصحيح ؟ الواقع أن قانون فرزنل ما هو في الحقيقة إلا تقريب للقانون الثالث . فإذا بدأنا بالقانون الثالث وأخذنا نعدّل من صيغته مع بعض التقريبات البسيطة فإننا سنحصل على قانون فرزنل . وعلى ذلك فاننا نعتبر أن القانون الثالث هو صحيح أيضاً ، ويعطي النتائج التي يقول عنها فيزو بدقة . فيكون اختبار فيزو في الماء ، بناء على ذلك ، اثباتاً لقانون جمع السرعات .

وبالإضافة إلى دقة القانون ، فإن له مميزات أخرى على قانون فرزنل ، منها أنه لا يفترض وجود الأثير ، ولا يشير إلى أي أثر لانسحاب الأثير وراء الاجسام المتحركة ، هذا إلى أنه جزء من نظرية شاملة تقوم الأثباتات على صحة قوانينها المختلفة في مختلف الميادين الفيزيائية . أما عامل سحب فرزنل فقد وضع لتفسير ظاهرة معينة ، وقد وجد صدفة أنه ينطبق على

اختبار فيزو .

وقد أعيدت تجربة فيزو بعد ذلك مراراً ، ووجد أنها تنطبق على القانون الثالث بخصوص جمع السرعات .

وفي (الليلة التالية) (ولا نود أن نذكر رقم الليلة الآن ، لأننا لا نعرف فيما إذا كان ترتيب الارقام الذي نعهده سيتغير ، كما تغير كل شيء في مفاهيمنا حتى الحسابية منها) قالت :

أيها القارئ السعيد ، كان محسن وحماته يسيران كل على دراجته بسرعة قريبة من سرعة الضوء في تلك البلد . وقد سبق أن قلنا لك بأن اسم ذلك البلد « بلاد الاعاجيب » ، لأن سرعة الضوء فيها عشرون ميلاً في الساعة ، ومن المفروغ منه أنها الحدّ الاقصى لأية سرعة مهما كانت .

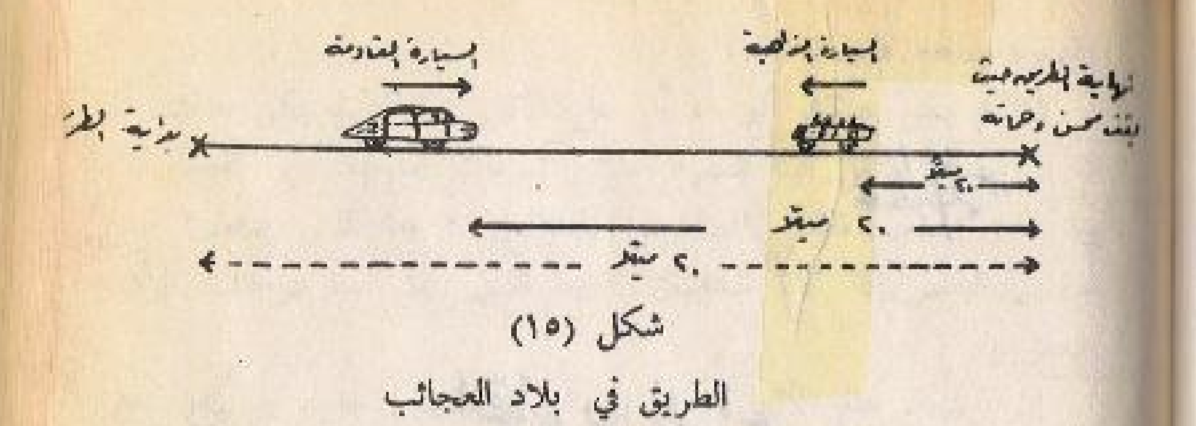
وقد روينا لك قصة محسن على انها حلم بسبب سرعة الضوء البطيئة التي فرضناها . ولكن كلّ ما يترتب على ذلك هو صحيح ليس إلى الشك فيه سبيل .

وأقبل محسن وحماتُه على سهل فسيح جداً فيه طريق مستقيم ممتد على طول السهل . فوقفا قليلاً يتجاذبان أطراف الاحاديث العلمية (أي أن حماة محسن أصبحت تتكلم في العلم وتناقش فيه ، وهذا سبب آخر يدعونا إلى اعتبار القصة حلماً) . وأخرج محسن آلات أرصاده الدقيقة ، وبمساعدة حماته ، قاس طول الطريق المستقيم الممتد أمامهما فوجده عشرين ميلاً بالتمام والكمال ، أي ان الضوء في تلك البلد يقطع هذا الطريق في ساعة كاملة من الزمن . ونظرا في العدسة المكبرة فرأيا سيارتين في الطريق احداهما متجهة نحوهما ، والأخرى سائرة إلى الطرف الآخر ، وكلتاهما مسرعة سرعة عظيمة ، وفيما عدا ذلك كانت الطريق خلواً من أيّ شيء . فعزما على قطع الطريق والذهاب إلى الناحية الأخرى . ونظرا إلى ساعتيهما فكانت الواحدة تماماً . وركبا دراجتيهما ، ورفعت حماته يديها إلى السماء

وقالت : « اللهم اجعلنا نقطع هذه الطريق بسرعة الضوء » . ويظهر أن السماء كانت مفتوحة في تلك الساعة فاستجيب دعاؤها ، وانطلقت بهما الدراجتان .

كانا ينتظران أن يريا الأشجار والمباني القائمة على جنبات الطريق وقد تقلصت وانكمشت كعهدهما بها أثناء السير السريع . ولكنهما أصبحا لا يريان شيئاً ، حتى الطريق التي يسيران عليها أصبحا لا يريانها . وقد حسبا أول الأمر أن عمىً أصاب عيونهما . لكنهما عندما نظرا إلى الدراجتين وجدا أن بصرهما سليم ، ونظرا إلى بعضهما البعض فوجدا أن كلّ شيء طبيعي . وأدرك محسن وحماته أن سبب ذلك هو أن القانون الأول من النسبية الخاصة يدلنا على أن السائر بسرعة الضوء يكون طوله صفراً بالنسبة لثابت . ولهذا فهما لا يريان الأشخاص الواقفين على جانبي الطريق ، ولا يريان شيئاً اطلاقاً ، لأن طول كل هذه الاشياء بالنسبة للآخر صفر . وقد أدهشهما أنهما لم يريا السيارتين السائرتين على الطريق سواء تلك السائرة في اتجاههما أو الأخرى السائرة عكس الاتجاه .

وأدهشهما أيضاً أنهما لم يكادا يمتطيان الدراجتين حتى وصلا إلى نهاية الطريق . وعندئذٍ وقفت بهما الدراجتان تلقائياً لأن الدعاء الذي توجهت به الحماة إلى السماء هو أن يقطعا هذه الطريق لا أكثر . وما كادا يقفان حتى نظر كلٌ منهما إلى ساعته ، وأمسكا بآلات الرصد يقيسان بُعد السيارتين السائرتين في الطريق ، وكانتا قد ابتعدتا عن بعضهما شوطاً طويلاً لأنهما تسيران في اتجاهين مختلفين . وقد أصاب محسن الذهول الشديد عندما وجد أن بعد السيارة القادمة اليه في الطريق نفسها هي عشرون ميلاً ، وبُعد السيارة الأخرى المبتعدة عنه في الطريق نفسها والتي اصبحت تفصلها مسافة طويلة جداً عن السيارة الأخرى القادمة اليه ، عشرون ميلاً أيضاً !! ووجد ان طول الطريق عشرون ميلاً كما كانت !!!



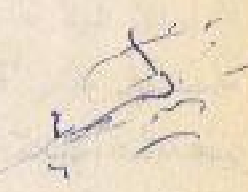
شكل (١٥)

الطريق في بلاد العجائب

وعندما أخذا يتناقشان في النتائج الجديدة الغريبة ، كانت حماة محسن ترى أن هذه النتائج طبيعية عادية ليس فيها شيء مستغرب . وقد علل محسن موقف حماته بأحد سببين : إما أنها تكون قد استوعبت مفاهيم النظرية النسبية استيعاباً عميقاً ، فأصبحت تتوقع النتائج التي تراها فلا تجد فيها عجباً ، أو أن منطقها في حياتها الطويلة كان دائماً متناقضاً كهذا التناقض فأصبحت معتادة عليه . أما محسن فقد وقع في حيرة عميقة وذهول شديد تمنى أثناءهما الخروج من بلاد العجائب .

وقبل أن تساورك في حقيقة الأمر الظنون ، نمسك عن الحديث ذي الشجون .

القانون الرابع



الطاقة والكتلة

رحم الله الأثير وطيب ثراه . فقد قضى حياته وهو يحمل الفيزياء الكلاسيكية على كتفيه مخافة أن تقع وتتحطم ، وكان يحلّ لها المشاكل ، وييسر لها الأمور ، ويقيها من عثرات الزمان . وأمضى عمره الفيزيائي في افعال الخير والتقوى حتّى قضت عليه النظرية النسبية ، وحملت له في طياتها الأجل المحتوم .

فالأجرام الفلكية تسبح في الأثير ، والامواج الضوئية هي ذبذبات في الأثير ، والأثر المغناطيسي والكهربائي ، والجاذبية ما بين الافلاك كلها من الأثير وفي الأثير وبالأثير وعلى الأثير وبواسطة الأثير . ولقد وصل الأثير في القرن الماضي مبلغاً من الأهمية بحيث أصبح عند الفيزيائيين وكأنه خاتم سليمان ، تعترضهم المشاكل فيطلبون الأثير وعنده الحل اليقين .

وجاءت النظرية النسبية ، فلم ترحم شبابه ، وأجهزت عليه وجعلته يلفظ النفس الأخير .

وبما أن هذه النظرية النسبية هي نظرية شاملة متكاملة ، إذن فلتفسر لنا كيفية انتقال الأثر الكهرومغناطيسي (أي الظواهر الكهرو مغناطيسية) ،

والضوء ظاهرة منها .

إذا لم يكن هنالك أثير ، أو على الأقل ، إذا لم يكن هنالك أثر له ، فكيف ينتقل الينا الضوء خلال المسافات السحيقة في الفضاء ؟.. وما الذي يجذب قطبي المغناطيس المختلفين ؟ وما الذي يدفعهما عن بعضهما البعض إذا كانا متشابهين ؟ وما الذي ينقل الينا موجات الراديو والتلفزيون ؟

إن استبعاد عالم الأثير يحتاج إلى ادخال مفهوم جديد يفسر الظواهر الكهرو-مغناطيسية كلها وينسجم مع النظرية النسبية . وهذا المفهوم الجديد يسمى بالمجال **الكهرو مغناطيسي** . وبدلاً من أن نعتبر أن الظواهر الكهرومغناطيسية هي تغيرات في الأثير أصبحنا الآن نعتبر أن هذه الظواهر هي حقائق مادية لها من واقع الوجود المادّي ما لأي جسم مادّي آخر .

وقد يكون القارئ استوعب هذا الكلام ، ولكن الكاتب لم يستوعبه بعد فلنشرح له قليلاً . تقول النظرية النسبية بأن الظواهر المارّ ذكرها (والضوء منها طبعاً) هي ليست مجرد ظواهر وإنما هي أشياء مادّية . أي أن الضوء مادّة تخرج من مصدرها وتسير في الفضاء حتّى تقع في عين القارئ السعيد . وبعبارة أخرى تقول النظرية النسبية بأن للضوء (والظواهر الكهرومغناطيسية الأخرى) كتلة . ولا تكتفي بذلك بل تقول بأن لكلّ طاقة كتلة مهما كانت هذه الطاقة .

ومعنى هذا أن قضيب الحديد وهو ممغطس أثقل منه عندما يفقد قوته المغناطيسية ، لأنه في الحالة الأولى يكون محاطاً بالمجال المغناطيسي وهذا له كتلته . ومعنى ذلك أيضاً أن المصباح ذا البطارية الجافة الذي تحمله في يدك في الليل إذا ما سرت في الظلام يفقد من وزنه شيئاً فشيئاً وأنت تضيؤه ، بسبب كتل الضوء التي تخرج منه .

يريد الاستاذ آينشتاين أن يقول إن للضوء وزناً .

كنت استغرب ممن يقولون بأن للكلام وزناً — ويدرك القارئ ذلك من هذا الذي اتحدث به اليه — فماذا يكون موقفي ممن يقولون بأن للضوء وزناً .

ولكن هذا هو حال العلم ، وعلينا أن نصدق ما تثبته البراهين العلمية ، وإن كانت تكذبه الحواس .

وفي الواقع ، لم يكن آينشتاين بقادر على تفسير انتقال الضوء من مكان إلى آخر في الفضاء ، بعد أن شطب على الأثير ، إلاّ بأن يعزو له أنه مادة ذات كتلة ووزن .

وقد يكون أهم ما أدخله آينشتاين إلى حظيرة العلم هو هذا المفهوم الغريب القائل بأن للطاقة كتلة وأن الطاقة ما هي إلاّ مظهر من مظاهر المادة ، ويقدم لنا القانون التالي :

$$\text{طق} = \text{ك}\,\text{س}^2$$

حيث طق = الطاقة ، ك = الكتلة ، س سرعة الضوء .

وقد كان هذا القانون من النظرية النسبية الخاصة ذا أثر بعيد جداً في عصرنا هذا ، فهو الذي دلّ العلماء على أن مقداراً ضئيلاً من المادة يعطي كمية ضخمة جداً من الطاقة . وأول أثبات عملي على ذلك كان في تموز سنة ١٩٤٥ عند تفجير أول قنبلة ذرية في مكسيكو الجديدة .

وقد وصل آينشتاين إلى معادلة القانون بالطريقة التالية : إن كتلة الجسم تزداد بازدياد سرعته . وبناء على ذلك فإن طاقة الجسم يجب أن تزيد أيضاً ، لأن الجسم الاثقل فيه طاقة أكبر ، والطاقة الإضافية التي تزيد بزيادة الكتلة تساوي مقدار الزيادة في الكتلة مضروبة في مربع سرعة الضوء ، وكل زيادة في الكتلة تتبعها زيادة في الطاقة يعبّر عنها بضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء ، كما هو ظاهر في القانون .

ويمكن أن نكتب القانون بشكل آخر :

$$\text{ك} = \frac{\text{طق}}{\text{س}^2}$$

أي أن الكتلة تساوي حاصل تقسيم الطاقة على مربع سرعة الضوء . وبناء على ذلك فإذا أردنا أن نحسب كتلة المغطسة في قضيب من الحديد فسنجد أنها ضئيلة جداً إذ سوف نقسم الطاقة ، وهي ضئيلة نسبياً ، على مربع سرعة الضوء ، وهذا عدد ضخم جداً . وكذلك الحال إذا أردنا أن نحسب كتلة الضوء التي سوف يطلقها مصباح اليد ذو البطارية الجافة إذا ما اشعلناه في الظلام .

وإذا كنا نحصّل على ارقام ضئيلة إذا ما أردنا أن نقيس كتل الظواهر الكهرومغناطيسية الموجودة على الأرض ، فإننا عندما نحاول أن نقيس هذه الظواهر في أجسام فلكية كبيرة سنجد أرقاماً ضخمة حقاً . فالشمس مثلاً تفقد من الضوء والحرارة كلّ يوم ما مقداره ٤٠٠،٠٠٠،٠٠٠،٠٠٠ طناً (٤×١٠^{١١})

وإذا خطر ببالنا أن نعرج قليلاً على عالم الشعر والشعراء فسوف يجذب انتباهنا الشعر التالي :

وقفت تظللني من الشمس	نفس أعزّ علي من نفسي
وقفت تظللني ومن عجب	شمس تظللني من الشمس

أي أن الاستاذ الشاعر يرى في محبوبته شمساً جديدة أخرى يضيفها إلى مجموعة النجوم في المجرّة التي نسكنها . وأظن أننا ذكرنا فيما مضى أن عدد النجوم في المجرة هو مئة ألف مليون نجم (١٠٠،٠٠٠،٠٠٠،٠٠٠) ، ولكننا يجب أن نعرف الآن أن عددها بناء على رأي الشاعر قد أصبح (١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠١) نجماً . وسوف لا نقدر النجم الجديد بأكبر من شمسنا — وإن كان الشاعر يفضل لو قدرناها بأكبر النجوم — وسنقول

بأن مقدار الضوء الذي يصدر منها ٤ × $١٠^{١١}$ طناً فقط . وسنفرض بأن هذه الأطنان كلها ضوء خالية من الحرارة المحرقة ، ونرى أن الشاعر مع هذا كله يجد أنها تبعث ظلاً يقي حضرته من وطأة حرّ شمسنا !! سوف لا نتساءل عن كتلة الحبيب الذي يصدر اربعمائة ألف مليون طن من الضوء ، ففي هذا احراج لنا واحراج للشاعر .

ولنتصور الآن أن كتلة الضوء هذه – بصرف النظر عن الحرارة – قد القيت على شاعرنا مرّة واحدة ، فقل لي ماذا يحدث لعظامه عندئذ ؟ ولكنه مع ذلك كله يجد تحت هذه الكتلة ظلاً ظليلاً !!

وهكذا الشعراء .

لكن مالنا والشعر ؟ ولنرجع إلى العلم تمشياً مع الحكمة القائلة : « العلم نور » . وإذا كان النور يعني الضوء ، فيجب أن يكون له ثقل أيضاً .

على أية حال ، فإننا بناءً على ذلك ، يجب أن نعلم بأن موجات الضوء هي غير موجات الماء أو موجات الصوت ، وتختلف عنهـا اختلافاً جذرياً . فموجات الماء هي ارتفاعات وانخفاضات متناسقة في ترتيب جزيئات الماء ، أي أن الجزيء يكون مرّة في أعلى الموجة ثم ينحدر إلى أسفلها ويصعد إلى أعلى الموجة الأخرى ، وهكذا . فهو يرتفع وينخفض في موضع محدّد ولا يتحرك بنفسه غير هذه الحركة . والشيء نفسه يقال عن موجات الصوت . أما موجات الضوء فشيء ينتقل من مكان إلى آخر ، وهو بذلك كالافعى التي تسير في موجات فيندفع جسمها كله إلى الأمام .

وإذا كان الضوء كذلك كان معنى هذا أن لا لزوم بعد الآن لافتراض وجود الأثير كناقل لموجاته .

وأود أن ألفت انتباه القارئ للمرّة الثانية إلى أنني حين أتحدث عن كتلة

شكل (١٦)

المجال المغناطيسي والموجة الكهرومغناطيسية
قبل آينشتاين وبعده

الضوء في هذا المجال إنما اتخذه مثلاً فقط ، لأن الكلام نفسه ينطبق على جميع الظواهر الكهرومغناطيسية. والشكل (١٦) يوضح الفكرة الحديثة التي نشأت عن المجال المغناطيسي والموجات الكهرومغناطيسية بعد ظهور النظرية النسبية واستبعاد الأثير .

وأرى الآن أن أعود إلى القانون نفسه قليلاً ، فلا يزال حوله بعض الحديث .

إذا كانت الطاقة تساوي الكتلة مضروبة في مربع سرعة الضوء ،

كان معنى ذلك أن جزءاً ضئيلاً من المادّة سوف يزودنا بطاقة هائلة جداً .

وإذا شاء القارئ أن يتأكد من ذلك فليعوض في المعادلة ليجد مقدار الطاقة التي يمكن أن يزودنا بها رطل انكليزي واحد من الفحم ، وسيرى بنفسه عندئذٍ أن مقدار هذه الطاقة هو ٣٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ قدم–رطل ! وهذا يعادل مجموع الطاقة التي تولدها محطات القوى الكهربائية في الولايات المتحدة لمدة شهر ! وبناء على ذلك فإن ملء ملعقة صغيرة من الفحم فيه من الطاقة ما يزود أكبر عابرات المحيط لتقطع المحيط الأطلسي ذهاباً وإياباً عدّة مرات !

وسوف يتساءل القارئ الآن ، ولكننا نحرق في الشتاء ارطالاً عديدة من الفحم والحطب فلا تكاد تكون كافية لتدفئة المنزل ، الا تطلق طاقة عند احتراقها ؟ ولماذا لا نشتري الفحم والحطب من دكان الصائغ بالدرهم ، وسيكفي الدرهم عندئذٍ لتدفئة مدينة كاملة طيلة فصل الشتاء ؟

أجل أيها القارئ ، إن احتراق الفحم يزودنا بطاقة ، ولكن عملية الاحتراق هي عملية كيماوية تغير في ترتيب الجزيئات ولا تفقدنا شيئاً منها . والذي يحصل في عملية الاحتراق هو اتحاد الاكسجين بالفحم وينتج من هذا الاتحاد انطلاق طاقة على شكل حرارة . لكننا في الواقع لم نفقد شيئاً من كتلة أحدهما : لا من كتلة الفحم ولا من كتلة الأكسجين ، ولو جرت عملية الاحتراق في اناء مقفل موضوع على ميزان فاننا لن نلاحظ تغيّراً في وزن الإناء قبل الاحتراق وبعده . وعلى ذلك ، فليس هناك مجال في هذه العملية لتطبيق القانون الذي يتحدث عن تغيير الكتلة إلى طاقة وبالعكس . أما العمليات التي يطبق فيها القانون فتسمى « التفاعلات النووية » .

والتفاعلات النووية تتحول فيها الكتلة (أو جزء منها) إلى طاقة ، ونجد عندئذٍ أنها تعطينا ثلاثة آلاف مليون مرّة من الطاقة قدر ما تعطينا

عملية الاحتراق . ولكن التفاعلات النووية تختلف اختلافاً جذرياً عن الاحتراق والتفاعلات الكيماوية الأخرى .

وعليك أن تعرف ، إذن ، أن حركة لسان حماة محسن التي كانت تزعجه انما ازعاج هي ناتجة عن عملية احتراق بسيطة ، يتحد فيها جزء قليل جداً من سكر الدم مع الاكسجين وتعطي طاقة تحرّك فيها عضلة اللسان الذي قاسى منه محسن الأمرّين . وقد كان محسن يظن قبل أن يقرأ النظرية النسبية أن هذه الطاقة هائلة جداً ولكنه تبين فيما بعد أنها ضئيلة إذا ما قيست بالتفاعلات النووية . أما إذا اكتشفت في المستقبل طرق تسير فيها ألسنة الحموات على الطاقة النووية فللأزواج الويل والثبور .

اثباتات القانون الرابع حول الكتلة والطاقة :

تجربة كوكروفت ووالتن Cockcroft and Walton

نظراً لكمية الطاقة الضخمة التي ينتظر أن يطلقها جزء ضئيل من المادة ، كان العلماء يشكون في امكانية اثبات هذا القانون ، ويعتبرونه نظرياً محضاً لا يكاد يكون هناك مجال لوضعه موضع التجربة . حتى كان اكتشاف بور **Bohr** لكيفية التركيب الذري سنة ١٩١٣ والتعديلات التي تلت ذلك بحيث أصبح لدينا فكرة كاملة عن تركيب الذرة سنة ١٩٢٠ ، وهو التركيب الذي نعرفها عليه الآن ، فركز العلماء جهدهم في تطبيق القانون على نطاق الذرة ، وخاصة النواة .

ومن المعروف الآن أن نواة الذرة تتكون من بروتونات ونيوترونات ، ولكل واحد من هؤلاء كتلة تبلغ ٠،٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠١ غراماً . والبروتون يحمل شحنة كهربائية موجبة ، أما النيوترون فلا يحمل أي شحنة ما . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن ثقل العناصر يعتمد على عدد

البروتونات والنيوترونات الموجودة في النواة . فكلما زاد العدد كان العنصر أثقل ، والعكس بالعكس . فالهيدروجين مثلاً ، وهو أخف العناصر ، تتكوّن نواته من بروتون واحد فقط ، بينما تتكون نواة اليورانيوم (وهو من اثقل العناصر) من ٩٢ بروتون و ١٤٦ نيوترون .

وكانت أهم مميزة لفتت انتباه العلماء هي قوة ارتباط البروتونات والنيوترونات مع بعضها البعض داخل نواة الذرة . فمن المعروف أن البروتونات تحمل شحنات كهربائية موجبة ، ومن المفروض بناء على ذلك أن تتنافر وتبتعد عن بعضها البعض . لكن ثبات النواة يدلنا على أن قوة الترابط هي أكبر كثيراً من قوة تنافر الشحنات الكهربائية الموجودة في بروتوناتها بحيث لا يعود لهذه الأخيرة أيّ أثر . ويسمي الفيزيائيون قوة الترابط هذه « طاقة الترابط » . وعلى ذلك ، فإذا أمكن تحطيم النواة بشكل من الاشكال فإننا ننتظر انطلاق « طاقة الترابط » المذكورة .

وطاقة الترابط التي تنطلق من تحطيم النواة لا يمكن أن تكون قد أتت من لا شيء . فمن القوانين الفيزيائية قانون لا يأتيه الباطل من بين يديه ولا من خلفه وهو قانون « حفظ الطاقة » ، وينص على أن الطاقة لا يمكن أن تأتي من العدم ولا يمكن أن تباد ، وإنما تتحول من شكل إلى آخر . فمن أين إذن تأتي طاقة الترابط ؟ ومن ذا الذي يزودنا بها ؟ أننا نجد جواباً على هذا السؤال في القانون الرابع من النظرية النسبية وهو طق = ك س٢ ، الذي يجب تفسيره بحيث أن طاقة الترابط المنطلقة من الذرة المحطمة تأتي من كتلة النواة .

وإذا كان لنواة ما ، كتلة معينة قبل التحطيم ، ثم حدثت عملية التحطيم وانطلقت طاقة اثناءها ، فان مجموع كتل الاجزاء الناتجة عن التحطيم سيكون أقل من وزن النواة الأصلية ، وسيكون الفرق ما بين الجهتين هو ما تحول إلى طاقة . أما إذا كان مجموع كتل الاجزاء الناتجة عن التحطيم مساوياً لكتلة النواة الأصلية ، كان معنى ذلك أن الطاقة

المتولدة قد حدثت من لا شيء ، وهذا خرق لقانون حفظ الطاقة . وعلينا أن نعرف بكل تأكيد ان التفاعلات النووية التي يقوم بها العلماء اليوم لا تستهلك كل كتلة النواة في توليد الطاقة ، انما تستهلك ذلك الجزء الضئيل جداً المعروف بطاقة الترابط النووية .

ولاثبات صحة ذلك ، أصبح من الضروري اجراء تجارب نقيس فيها كتلة نواة معينة ، ثم نحطمها ونقيس كتلة الاجزاء التي نتجت عن التحطيم ونقيس مقدار الطاقة التي انطلقت من هذه العملية ، ونقارن لنجد ما إذا كان هناك تكافؤ ما بين الطاقة المتولدة والكتلة المفقودة .

كان كوكروفت ووالتن أول من نجح في اجراء اختبار كهذا بدقة متناهية ، وكان ذلك في انكلترا سنة ١٩٣٢ . فقد قذفا نواة الليثيوم ببروتون ، وحدث من جراء هذا الاصطدام أن انقسمت النواة إلى جزئين وانطلقت كمية من الطاقة . وعندما قيست كتلة الجزئين وقورنت بكتلة نواة الليثيوم الأصلية وجد أن مجموع كتلتيهما أقل من كتلة نواة الليثيوم . وقاس كوكروفت ووالتن كمية الطاقة المنطلقة ، فوجدا أنها تكافئ ما فقد من الكتلة حسب القانون الرابع من النظرية النسبية الخاصة . وعلى ذلك ، يكون قد ظهر أول برهان لتكافؤ الكتلة والطاقة بعد ظهور النظرية النسبية الخاصة بثمانية وعشرين عاماً .

القنابل الذرية والهيدرجينية :

وبعد تجربة كوكروفت ووالتن أجريت تجارب عديدة أخرى أكدت تكافؤ الطاقة والكتلة . وتجمعت هذه التجارب لتظهر على العالم بنتائج اهتزت لها البشرية . أولاها في مكسيكو الجديدة في ١٦ تموز سنة ١٩٤٥ عندما فجرت القنبلة الذرية للمرة الأولى . أما الثانية ففي جزائر مارشال في المحيط الهادي في تشرين الثاني ١٩٥٢ عندما فجرت القنبلة الهيدروجينية

للمرّة الأولى . وهذان النوعان من القنابل يعتمدان في الأساس على قانون تكافؤ الكتلة والطـاقة من النظرية النسبية ، ولكن هناك اختلاف رئيسي بينهما .

فقد شرحنا حتى الآن أن العلماء قد وجدوا بأن العناصر الثقيلة إذا تحطمت فإنها تعطي اجزاء تكون في كتلتها أقل من كتلة النواة الأصلية ، وهذا ما أثبته اختبار كوكروفت والتن . لكن العلماء قد وجدوا العكس في العناصر الخفيفة . فإذا تحطمت نواة عنصر خفيف كانت كتلة الاجزاء الناتجة أكبر من كتلة النواة الأصلية . ومعنى هذا أنها تستهلك طـاقة لتحطيمها بدلاً من أن تعطي طاقة . ولهذا قامت فكرة القنبلة الهيدروجينية على أساس معاكس تماماً لفكرة القنبلة الذرية . فصانعوها يقومون بتكوين نواة من أجزاء صغيرة جاهزة لهذا الغرض . ولما كان مجموع كتل هـذه الاجزاء الصغيرة أكبر من كتلة النواة ، فإنها عندما تتحد تطلق كمية هائلة من الطاقة هي الفرق ما بين الكتلتين .

وعلى ذلك ، فإن القنبلة الذرية قائمة على أساس تحطيم الذرة ، أمـا القنبلة الهيدروجينية فهي قائمة على أساس تجميع الاجزاء لتكوين ذرة . ولكن الحساب في الحالتين قائم على أساس قانون تكافؤ الكتلة والطاقة من النظرية النسبية .

الطاقة في الشمس والنجوم :

هناك مثل مدهش آخر حول تحويل الكتلة إلى طاقة ، وهو ما يحدث في الشمس وفي النجوم الأخرى . فالطاقة التي تزودنا بها الشمس كانت لغزاً من الألغاز حيّر العلماء منذ قرون . وكان العلماء القدماء يعتقدون بأن الشمس مكونة من فحم أو مادّة أخرى قابلة للاحتراق كالفحم . وهذه المادة تحترق بالطرق العادية التي يحترق فيها الفحم على سطح الأرض

لكن تبين للعلماء فيما بعد أن هذا شيء مستحيل . فلو كانت الشمس كذلك لاحترقت احتراقاً كاملاً في قرنين أو ثلاثة قرون من الزمن ، لأننا نعرف كتلتها ونستطيع أن نقدر الوقت الذي يستغرقه احتراق هذه الكتلة من الفحم . ولكن الشمس كانت ولا تزال تعطينا هذه الطاقة منذ آلاف الملايين من السنين .

وقد بقيت طاقة الشمس لغزاً من الألغاز حتى اكتشفت التفـاعلات النووية ، وعرف العلماء قانون آينشتاين في النسبية الخاصة حول تحول الكتلة إلى طاقة . ففي عام ١٩٣٨ قام عالمان ، كل على حدة ، بوضع معادلة التفاعلات النووية التي تجري في الشمس وتعطينا هذه الطاقة الضخمة . وهذان العالمان هما بيث **Bethe** ووايزكر **Weizsacker** . وقـد وجدا أن هناك سلسلة من التفاعلات النووية تحدث داخل الشمس تنضم فيها اربعة نويات هيدروجين (اربع بروتونات) لتكوّن نواة هيليوم (بروتونان ونيوترونان) ، وبما أن كتلة نواة الهيليوم أصغر من كتلـة أربعة نويات هيدروجين بمقدار ٠,٠٠٧ فإن الكتلة المفقودة تتحوّل إلى طاقة .

وقد حسب بيث ووايزكر انطلاق الطاقة من كتلة الشمس كلّهـا ، معتمدين على القانون الرابع من النظرية النسبية ، وقارنا ذلك بما يصل الينا من اشعاع الشمس ، فوجدا تطابقاً تاماً بين حسابيهما النظريـة والقياسات العملية ، وعلى ذلك فقد كانت عمليتهما هذه اثباتاً آخر للقانون .

وبما أن الطاقة التي تطلقها الشمس هي على حساب كتلتها ، كان معنى ذلك أنهـا تحرق نفسها في سبيل اعطائك النور والحياة أيها القارئ ، وهي فعلاً شمعة تحترق فتأكل نفسها في سبيل الآخرين . وإذا كـان استهلاكها للهيدروجين سائراً على المعدل الذي يسير عليه الآن فإنها سوف تستهلك جزءاً في المئة من كتلتها كل ألف مليون سنة . وبالنظر إلى عوامل

أخرى فإن العلماء يقدرون بقاءها حتى عشرين بليون أو ثلاثين بليون سنة قادمة .

ولا أظن بنا حاجة إلى القول أن عمليات كهذه تجري في بقية النجوم . وعلى ذلك فإن النجوم أيضاً تأكل نفسها ، وسوف تنطفئ آخر الأمر . ويعتمد عمرها على حجومها المختلفة وعلى نوع العملية النووية الجارية فيها .

ويمكن أن تقارن التفاعلات النووية الجارية في النجوم بالعملية التي تجري أثناء انفجار القنبلة الهيدروجينية . وسيكون الخلاف فقط في مدى الزمن الذي تستغرقه العملية في كل منهما . فالعملية تجري في النجوم ببطء شديد جداً يستغرق بلايين السنين ، بينما تجري في القنبلة الهيدروجينية في حوالى جزء من مليون جزء من الثانية .

العصر الذري :

مع أن أول تطبيق عمليّ لتكافؤ الكتلة والطاقة كان في القنبلة الذرية وكان له وقع سيّء في جميع النفوس في العالم كله ، إلاّ أنه في الواقع كان بداية العصر الذرّي الذي نعيش فيه الآن . فمنذ ذلك الحين توجهت أنظار العلماء ومجهوداتهم إلى استغلال الطاقة الذرية في الأغراض السلمية ، مما كان وسيكون له نتائج بعيدة الأثر في حضارة الأمم . ومعظم التفاعلات الذرية التي طبقت والتي يجري عليها البحث الآن ، تتعلق بتحطيم الذرة ، إنما على نطاق أقلّ مما يجري في القنبلة الذرية . ومن تفاعلات كهذه تتولد طاقة تحوّل الآن إلى طاقة حرارية أو كهربائية أو ميكانيكية . وبالاضافة إلى ذلك فقد أخذ العلماء يولّدون النظائر المشعّة في المسارعات الذرية المختلفة ، ولهذه فوائدها الواسعة في الطب والزراعة والصناعة .

إن العصر الذري في بدايته ، ولا يستطيع الإنسان أن يتصور الفوائد التي يمكن أن نجنيها من الطاقة الذرية . وكل هذا بفضل معادلة تكافؤ الكتلة والطاقة المستمدّة من النظرية النسبية الخاصة .

القانون الخاص

للزمان في النسبية

بهذا العنوان نفسه تكلمنا فصلاً كاملاً في أوائل الكتاب عن الزمان في النسبية . وأظن أن في ذلك الفصل معلومات تمهيدية كافية تبيح لي أن أدخل في القانون رأساً دون أية مقدمات .

يرى آينشتاين أن الزمن يتباطأ بحسب السرعة بنفس العامل الذي ينكمش فيه الطول بحسب السرعة . ويعطينا المعادلة التالية :

$$\text{ز}' = \text{ز}\sqrt{1-\frac{\text{ف}^2}{\text{س}^2}}$$

حيث « ز' » ترمز للزمن الجديد ، و « ز » ترمز للزمن عندما كانت السرعة صفراً بالنسبة للمشاهد ، و « ف » السرعة النسبية بينهما ، و « س » سرعة الضوء .

ولننظر الآن إلى السفينتين الفضائيتين التقليديتين ا ، ب اللتين انطلقتا في الفضاء (شكل ٩) . ولنفرض أننا عندما أطلقناهما كانت عقارب ساعة

كلٍّ منهما تشير إلى الثانية عشرة تماماً . ثم أخذتا تسيران بسرعة نسبية مقدارها « ف » .

فإذا أراد « ا » أن يرى الوقت عند « ب » ، فسوف يندهش عندما يرى أن ساعة « ب » السحرية أخذت تسير ببطء وأصبح معدل سير الزمن فيها يتفق مع المعادلة الخامسة من قوانين النسبية الخاصة .

وإذا فرضنا أن السرعة النسبية بين « ا » ، « ب » هي ٩٣٠٠٠ ميلاً–ثانية ، فسوف نجد أن زمن « ب » يسير بسرعة ٠,٩ ما يسير به زمن « ا » ، فإذا كانت ساعة « ا » تشير إلى الواحدة فإن ساعة « ب » ستكون ١٢:٥٤ أي أقل من « ا » بستة دقائق . وفي أي وقت ينظر فيه « ا » إلى ساعة « ب » سيجد أنها تسير تسعة أعشار ما تسير به ساعته .

وإذا كانت سرعتهما النسبية ١٦١٠٠٠ ميلاً–ثانية ، فسوف تبيّن لنا المعادلة أن زمن « ب » يسير نصف ما يسير به زمن « ا » . أي إذا كانا قد سارا ساعة من الزمن بهذه السرعة ، فسيجد « ا » أن ساعته قد بلغت الواحدة عندما تكون ساعة « ب » تشير إلى الثانية عشرة والنصف . وكلما زادت السرعة النسبية بينهما كلما تباطأت ساعة « ب » . وسوف لا يهمنا إذا كانت سرعتهما النسبية ناتجة عن اقترابهما أو ابتعادهما عن بعضهما البعض .

كل هذا حتى الآن معقول لأنه يسير حسب المنطق الذي تعودناه الآن في القوانين السابقة . ولو شئنا أن نتصوره لاستطعنا على الأقل أن نتصور شيئاً منه . وسيكون مقبولاً لدينا ما دمنا قد قبلنا الفرضين اللذين تقوم عليهما النسبية الخاصة .

لكن دعنا الآن ننظر إلى ما يلي :

دع « ب » يسجل زمن « ا » . إنه سيجده متباطئاً حسب المعادلة نفسها . فإذا كانت السرعة النسبية بينهما ٩٣٠٠٠ ميلاً–ثانية ، فسيجد

أن زمن « ا » يسير بمعدل ٠,٩ زمنه ، وإذا كانت السرعة النسبية ١٦١٠٠٠ ميلاً–ثانية فسيجد أن زمن « ا » يسير بنصف المعدل الذي يسير به زمنه . وهكذا !!!

أي أنهما إذا افترقا عن بعضهما البعض الساعة الثانية عشرة تماماً ، وكانت السرعة النسبية بينهما ١٦١٠٠٠ ميلاً–ثانية (أي ٠,٩ س) فبعد ساعة من الزمن بحسب تقدير « ا » ستكون ساعة « ب » الثانية عشرة والنصف ، وبعد ساعة من الزمن بحسب تقدير « ب » ستكون ساعة « ا » الثانية عشرة والنصف !!!

ولو كان « ا » ، « ب » من غير مرتبة العلماء ، وكانا لا يعرفان النظرية النسبية كما نعرفها الآن أنا وأنت ، واستطاعا – بشكل من الأشكال – أن يتحادثا وهما سائران بهذه السرعة الخارقة فسوف يضحك كل واحد منهما من الآخر لأن ساعة الآخر تسير نصف سير ساعته ، وسيقول « ا » إن ساعته الواحدة وساعة « ب » الثانية عشرة والنصف ، وسيقول « ب » إن ساعته الواحدة وساعة « ا » الثانية عشرة والنصف . وإذا تراهنا على ذلك وجعلاك بينهما حكماً وأردت أن تظهر بمظهر العالم الذي يعرف أسرار الفيزياء وخفايا الكون وعجائب الطبيعة ، فسوف تلتفت إلى « ا » وتقول له : « أنت على حق ، وساعتك صحيحة » ، ثم تلتفت إلى « ب » وتقول له : « أنت على حق ، وساعتك صحيحة » . أما ماذا يترتب على حكمك ، ومدى ثقة الرجلين بعقلك واتزان تفكيرك فهذا لست مسؤولاً عنه ، إنما المسؤول هو آينشتاين الذي وضع هذا القانون .

ويمكننا أن نضع القانون بالكلمات التالية : **« إذا تحرك مشاهدان بسرعة ثابتة بالنسبة لبعضهما البعض فسوف يبدو لكل منهما أن زمن الآخر قد تباطأ بالنسبة التي تحددها المعادلة »** .

إن هذا القانون هو الذي جعل العلماء يغيّرون وجهة نظرهم في « الزمان » وينظرون اليه نظرة تختلف اختلافاً كلياً عما كانت تنظر بها

اليه الفيزياء الكلاسيكية . فقد كان الزمن منذ القدم يُعتبر أنه يسير بمعدل واحد بالنسبة لكل شيء أوكل إنسان في هذا الكون . فهو كالنهر الكبير العريض الذي يجري تياره في كل بقعة منه بالمعدل نفسه ، ولا تجري منه قطرة بأسرع مما تجري به أية قطرة أخرى .

لكن النظرية النسبية ترى رأياً يختلف عن هذا اختلافاً كليّاً ، ففي التشبيه نفسه ترى أن الزمن كنهر عريض يختلف جريان كل بقعة فيه عن البقعة الأخرى ، وذلك حسب السرعة النسبية للمشاهد .

اثبات تباطؤ الزمن مع السرعة :

إن تباطؤ الزمن مع السرعة لا يكون ملحوظاً في حياتنا اطلاقاً ويمكن اهماله (كإهمال بقية قوانين آينشتاين في الحياة العادية) ولا يمكن قياسه لصغره المتناهي . ولكي نستطيع اكتشاف أيّ فرق ملموس يجب أن نجد نظاماً ما يتحرك بسرعة عظيمة جداً .

وأول من اهتدى لذلك هو العالم أيفز Ives سنة ١٩٣٦ ، فقد استطاع أن يسارع ذرات الهيدروجين داخل انبوب زجاجي بواسطة مجال كهربائي إلى أن وصلت سرعة الذرات ١١٠٠ ميلاً–ثانية أي ٠,٠٠٦ من سرعة الضوء ، ومع أن هذه السرعة لا تزال ضئيلة جداً بالنسبة لسرعة الضوء ، إلاّ أنها كافية للكشف عن الأثر المطلوب إذا كان له وجود .

ومسألة تعليق ساعة في ذرة الهيدروجين لنقيس بها الزمن ليست من الصعوبة بمكان كما قد يخيل للقارئ . فهناك ساعة طبيعية موجودة داخل الذرّة ألا وهي الالكترون المتذبذب (ويجب أن نلاحظ هنا أن الذبذبة ليست موجودة في بعض البشر وحسب ، بل هي موجودة حتى في الالكترونات) . ويستطيع العالم بواسطة المحلل الطيفي أن يقيس ذبذبة

الالكترون في ذرة الهيدروجين في الحالتين : حالة السكون وحالة الحركة السريعة . وقد وجد أيفز أن ذبذبة الالكترون تطول مدتها أثناء الحركة السريعة بما ينطبق تماماً على المعادلة الخامسة من النظرية النسبية . وبهذه التجربة ثبت تغيّر الزمن مع السرعة .

وفي (الليلة التالية) قالت :

أيها القارئ السعيد ، بعد أن قطع محسن وحماته الطريق بسرعة الضوء وقفا فجأة ، نظرا إلى ساعتيهما وقاسا بعد السيارة الذاهبة فكان عشرين ميلاً وبعد السيارة القادمة فكان عشرين ميلاً أيضاً ، وطول الطريق فكان عشرين ميلاً !! ومع أن محسن استغرب من ذلك موقتاً إلى أن استعاد معلوماته في قوانين النظرية النسبية ، الا أنه عاد للاستغراب مرّة أخرى عندما وجد أن ساعته تشير إلى الواحدة وساعة حماته تشير إلى الواحدة أيضاً ، وهي نفس القراءة التي قرآها قبل أن يقطعا الطريق بسرعة الضوء . ولقد ظن في بادئ الأمر أن خللاً أصاب ساعته وساعة حماته ، ولكنه نظر اليهما فوجدهما تعملان بدقة وانتظام ، فاحتار كيف قضى ساعة من الزمن في قطع الطريق دون أن تتحرك ساعتاهما . ولكن حماته أدركت حيرته ، ونظرت اليه نظرة شزراء وقالت : « أراك يا محسن قد نسيت المعادلة التي تخبرك عن تباطؤ الزمن مع السرعة ، اليك ورقة وقلماً لكي تعوض رموزها وتجد الزمن الذي صرفناه في قطع الطريق » واعطته الورقة والقلم . وفعل ما أمرته حماته ، فوجد أن الزمن الذي قضياه في قطع الطريق كان صفراً فالساعتان إذن سليمتان ، لكن لم يكن يمرّ بهما زمن وهما سائرتان بهذه السرعة ولهذا كانتا واقفتين .

ولما فهم محسن ذلك ، زالت عنه الدهشة ، فنمسك عن هذه الأحاديث المشة .

وفي (الليلة التي تلتها) قالت :

أيها القارئ السعيد ، كان لما رآه محسن في المنام أثر كبير على

نفسه ، أعاد اليها حب الدراسة والعلم ، ذلك الحبّ الذي قضت عليه مشاغل الحياة ومصائب الأيام . فصحا من منامه نشيطاً ملؤه الرغبة في متابعة القراءة حول هذا الموضوع ، وتناول قهوته وهو غارق في التفكير ، وخطر بباله أن يلقي تحية الصباح على حماته ، فخرج إلى الصالة ، فوجدها جالسة تشرب قهوتها فردّت عليه تحيته بأحسن منها وهي تبتسم ، وأخذا يتجاذبان أطراف الحديث . وشدّ ما هاله أن علم أن حماته قد حلمت الحلم نفسه ، وأنها كانت ترافقه في بلاد العجائب وأخذت تذكّره بالبلاد التي كانت سرعة الضوء فيها عشرين ميلاً في الساعة ! لم يصدق محسن ذلك أول الأمر وأخذ يفرك عينيه ليتأكد من يقظته ، فلم تجد حواسّه شيئاً يدعو إلى اعتبار الأمر حلماً ، فسلّم أمره لله . وأشد ما أدهشه وبعث في نفسه الغرابة أن حماته قد فهمت تفاصيل النظرية النسبية من الحلم فقط ، بحيث أصبحت تناقشه فيها مناقشة الخبير الضليع وتدله على مواضع اخطائه إذا اخطأ .

تذكر عندئذ عندما كانا يقفان في السهل في بلاد العجائب ، وعندما دعت حماته أنّ يقطعا الطريق ذات العشرين ميلاً بسرعة الضوء ، أنه رفع يديه إلى السماء في تلك اللحظة وقال « اللهم اهدِ حماتي » ، كانت السماء مفتوحة فاستجيب دعاؤها ، واستجيب دعاؤه .

ولم يقف الأمر عند هذا الحد ، بل قالت له إنها قد جمعت مبلغاً كبيراً جداً من المال ، سوف تنفقه في رحلات إلى الفضاء تقوم بها بنفسها ، وإذا أحبّ أن يرافقها فعلى الرحب والسعة .

وبينما هما يتجاذبان أطراف الحديث جاءتهما صحف الصباح تعلن أن احدى الشركات قد انتجت سفناً فضائية جاهزة للبيع . إذن كان تقدير المحاضر في الليلة السابقة خاطئاً عندما قال بأن هذه السفن تحتاج إلى عشر سنين أو خمس عشرة سنة حتى تصبح متيسرة للجماهير . إن الحضارة دائماً تسير بأسرع مما يقدر لها العلماء .

على أية حال ، فقد أمرته بطلب واحدة واعداد نفسه للقيام برحلة
إلى الفضاء ، وهي ستكون مسؤولة عن جميع المشاكل الاقتصادية التي
تترتب على ذلك . فوقع هذا الطلب في قلب محسن موقعاً حسناً ، لا سيما
وقد رأى أن حماته قد أصبحت سليمة الجسم طيبة الصحة ، وعندما
سألها عن مرضها قالت له بأنها لم تعد تفكر فيه ولم تعد تشعر بشيء
لأن هناك شاغلاً آخر عليها أن تشغل نفسها فيه ، وهو العلم
الفيزيائي .

وهكذا أصبحت حماة محسن عالمة فيزيائية .

ونشأت صداقة عميقة بين محسن وحماته ، وأخذا يترددان معاً على
المراصد والمختبرات العلمية ، ويدرسان النجوم ومواقعها . وقرّ رأيهما آخر
الأمر على أن تكون رحلتهما إلى الشعرى اليمانية **Sirius** نظراً لمميزات
عديدة في هذا النجم .

فالشعرى اليمانية نجم قريب جداً منا ، إذ لا يبعد عنا أكثر من تسع
سنوات ضوئية ، وعلى ذلك فهو جار لنا ، والسفر اليه لا يستغرق وقتاً
طويلاً . وبالإضافة إلى ذلك ، فللشعرى اليمانية نجم آخر مرافق له ،
يدوران حول بعضهما البعض ، وهذا أمر يلفت الانتباه ، وفيه منظر يسرّ
الناظرين . والشعرى اليمانية أيضاً ، هو أكثر النجوم (لا الكواكب) لمعاناً
في السماء ، وهو عين الكلب الأكبر ، إن كان لك معرفة بكلاب
السماء .

وعلى الشعرى اليمانية أصبح التصميم ، فنمسك موقتاً عن هذا الخبر
العظيم .

وفي (الليلة التي تلتها) ، قالت :

أيها القارئ السعيد ، لم يكد ينتشر خبر الرحلة بين الأصحاب حتى
استعد كثير منهم لمرافقة محسن وحماته . وكان من بين المسافرين طبيب ،
وموظف صغير السن يبلغ عمره سبعة عشر عاماً ، تزوج قبل عام واحد

ورزق بطفل عمره بضعة شهور . وهكذا تجمعت نخبة طيبة منسجمة ،
في افرادها من حب العلم والرغبة في المغامرة ما يجعلهم يتحرقون شوقاً إلى
موعد السفر . وأخذوا أثناء ذلك يجمعون من المؤن والطعام والشراب ما
يكفيهم ثمانية عشر عاماً ، لأنهم لم يكونوا متأكدين من وجود طعام
وشراب في كواكب الشعرى اليمانية .

وبعد أن تم استعدادهم وعزموا على الانطلاق خرج معظم أهل المدينة
لوداعهم ، وكان من جملة المودعين سنيّة وأولاد محسن . فالاولاد لا
يستطيعون ترك المدرسة ، وسنيّة هي التي ستتولى تدبير أمورهم .

وفي ساعة الصفر انطلقت سفينة الفضاء بين الهتاف والدعاء ، والكل
يتمنى للمسافرين التوفيق ويرجو لهم السلامة .

كانت السفينة الفضائية واسعة قوية متينة مريحة ، لم تكد تبتعد بهم
عن الارض حتى أخذت تسير بسرعة خارقة لم يسبق أن سارت بها
سفينة فضائية من قبل ، وأصبحت سرعتها ٩٩,٩٩٩٩٩٩٩٩ بالمئة من
سرعة الضوء . وفقد ركابها الجاذبية وأخذوا يتجولون فيها كما شاء لهم
الهوى . كان بعضهم يمشي على سقفها ، والآخر يضع الكرسي على
الحائط ويجلس عليه ، والثالث يمسك الكوب المملوء بالماء ويقلبه على
وجهه فلا ينزل الماء منه ، وهكذا قضوا بعض الدقائق يتسلون بهذه الظاهرة
التي لمسوها للمرة الأولى .

ولكنهم سرعان ما شعروا بالجوع ، فقد غادروا المطار في الصباح
الباكر دون أن يأكل الفرد منهم لقمة خبز . فاقترحوا أن يسلقوا بيضة
على النار ، فأوقد أحدهم وابور بترول ووضع عليه البيض وهو مغموس
في الماء ، ونظر إلى ساعته فوجد أن الماء قد استغرق خمس دقائق حتى
ابتدأ يغلي ، ثم انتظر على البيض خمس دقائق أخرى حتى تأكد من
نضجه . ووزع البيض على الركاب فأكلوا حصصهم مع بعض الاقتصاد
لأنهم كانوا يخشون أن تنفذ المؤن في الاعوام الثمانية عشر المقبلة . وبعد

أن شبعوا وحمدوا الله على نعمته ، أراد الطبيب أن يقوم بعمله الروتيني ، فجس نبض كلّ واحد منهم فوجده عادياً . كان نبض حماة محسن اربعة وسبعين نبضة في الدقيقة حسب ساعة الطبيب . وقد نظروا كلهم إلى ساعاتهم فوجدوها سائرة على ما يرام ، وكلّها في حالة صالحة .

وكانت حماة محسن شعلة من النشاط فقامت وأشعلت النار مرة أخرى وصنعت فنجان قهوة لكل راكب ، وقد استغرق عمل القهوة دقيقتين على النار ، واستغرق شربها خمس دقائق – كما هي العادة على الأرض . وكان أحد الركاب الظرفاء يحمل كتاب احجيات ، أخذ يلقي منها على الركاب ، فكان منها السهل ومنها الصعب ، إلاّ ان حماة محسن كانت أسرع الموجودين بديهة ، فكانت تحلّ كلّ الاحاجي ، والصعبة منها تستغرقها دقيقة واحدة فقط ، بينما كان بعض الركاب يحتاج إلى خمس دقائق لحلّ الاحجية نفسها .

هكذا أخذوا يصرفون وقتهم بين أنواع الألعاب والمتع حتى حان موعد الغداء . وكانت حماة محسن على وشك أن تقوم لتحضير الطعام الاّ أن ربان السفينة صاح قائلاً : « استعدوا للهبوط على احدى كواكب الشعرى اليمانية » .

وعند هذا الصياح نمسك عن الكلام المباح .

وفي (الليلة التي تلتها) ، قالت :

أيها القارئ السعيد ، عندما سمع الركاب صياح الربّان ، استغربوا كلهم من ذلك إلاّ حماة محسن . فقد كانت ضليعة في النظرية النسبية ، وكانت تعلم قانون تباطؤ الزمن مع السرعة . فشجعت الركاب وهي ضاحكة باسمة ، حتى تمالكوا أعصابهم وأخذوا ينظرون من نوافذ السفينة إلى الكوكب تارة وإلى الشعرى اليمانية ورفيقه تارة أخرى . وقد أعجبوا بمنظر نجمين يدوران حول بعضهما البعض ، وهو منظر لا يعهدانه في نظامنا الشمسي . ونظروا إلى الكوكب الذي سيهبطون عليه فوجدوا أن له جوّاً كجوّ الارض

فأخذوا يتأملون تغيّر الألوان أمام أعينهم أثناء الهبوط ، ويتمتعون بتغيرها التدريجي حتى رست بهم السفينة على شاطئ بحر . وكان يبدو من خلال النوافذ أن أرض الكوكب تشبه ارضنا وأن بحرها يشبه بحرنا . وكانوا على وشك ان يفتحوا السفينة ويخرجوا منها إلاّ أن الربّان طلب اليهم المكوث حتى يقوم بفحص الجوّ إذا كان صالحاً للحياة . فأخذوا يسلطون المنظار إلى البحر مرّة وإلى السهل مرّة أخرى لعلهم يجدون حيواناً أو نباتاً ، فلم يجدوا شيئاً . وبعد لأي من الزمن اخبرهم الربّان بكل أسف أنهم لن يستطيعوا الخروج من السفينة لأن كمية الاكسجين في الجوّ غير كافية لتنفس الانسان وإذا خرجوا فسوف يختنقون . وطلب اليهم أن يتناولوا طعام غدائهم وسيرجعون القهقرى بعد ذلك من حيث أتوا .

لم يكن إلى مناقشة الربان في قراره من سبيل ، كعادة كل من يتسلمون مراكز حساسة من هذا القبيل . فقامت حماة محسن لتهيئة الطعام ، وأحضرت بعض اللحوم التي طبخت في صباح ذلك اليوم ، على الأرض قبل أن يغادروها ، فوجدوا أنها لا تزال ساخنة لأنها كانت ملفوفة لفّاً جيداً . وما أكملوا غداءهم حتى اقلعت بهم السفينة عائدة أدراجها .

وعندما حلّ موعد العشاء أخبرهم الربّان أنهم قد وصلوا الكرة الأرضية وسيهبطون قريباً في المطار الذي أقلعوا منه في الصباح . كانت الشمس قد غابت عندما أخذت السفينة تحلق فوق المدينة ، فلم يستطيعوا أن يتبينوا معالمها بدقة ، غير أنهم لاحظوا أن الانوار الكهربائية تمتد إلى مسافات واسعة أكثر مما يعهدون مما دعاهم إلى الاستنتاج بأن المدينة قد اتسعت اضعافاً مضاعفة . وقد كادوا يشكون بادئ الأمر في أن تكون هي المدينة التي أقلعوا منها ، ولكن حماة محسن أكدت لهم ذلك .

وما أن خرجوا من السفينة حتى رأوا أن هناك بنايات جديدة حول المطار أنشئت حول البناية القديمة ، ونظروا إلى بعض الطيارات الراسية ،

فوجدوا أنها ذات طراز لا عهد لهم به ، ولم يعرفوا من عمال المطار أحداً ، ويظهر أن عمال الصباح كلهم غائبون .

وعندما خرجوا للساحة وجدوا أنواعاً من السيارات لا يعرفونها من قبل ولم يجدوا سيارة واحدة من الطراز الذي يعرفون ، بل لم يجدوا سيدة تلبس ثوباً من طراز يعرفون . واشترى أحدهم صحيفة مسائية وصاح صيحة دهشة عندما قرأ تاريخها . إن تاريخها يدلّ على أنهم قضوا في السفينة الفضائية ثمانية عشر عاماً !!!

وعند هذا النبأ اللطيف نمسك عن الحديث الظريف .

وفي (الليلة التالية) قالت :

أيها القارئ السعيد ، لم يجد أصحابنا ركاب السفينة الفضائية أحداً ينتظرهم في المطار ، إذ لم يكن لأحد من أهلهم علم بموعد عودتهم . وعندما تفرقوا في ساحة المطار وجد بعضهم صعوبة في معرفة مكان بيته نظراً للتغيّر الكبير الذي طرأ على المدينة ، فقد اقيمت فيها بنايات عديدة ضخمة وشقت شوارع جديدة . على أية حال ، فقد اهتدوا بعد وقت طويل أو قصير من الزمن ، إلى بيوتهم . ولا تسل عن المفارقات اللطيفة التي قابلها كلّ واحد منهم .

كان الطبيب قبل سفره قد ترك ابناً في العاشرة من عمره ، وعندما عاد وجد أن ابنه في الثامنة والعشرين ، وقد حاز منذ بضعة سنين على شهادة في الطب ، وأصبح يعمل في العيادة التي كان يعمل فيها ابوه . وكان الطبيب عندما سافر في الثامنة والعشرين من عمره ، وقد عاد فوجد أنه هو وابنه في عمر واحد .

هذا ما كان من أمر الطبيب وابنه . أما الشاب الآخر الذي كان عمره سبعة عشر عاماً ، فقد عاد إلى بيته ليرى زوجته وابنه الذي تركه وعمره بضعة أشهر ، وشدّ ما أدهشه أن رأى أن ابنه قد أصبح في التاسعة عشرة من عمره ، أي أن ابنه أصبح أكبر منه. ووقعت مشكلة طريفة

بين الاثنين ، فكل واحد منهما يريد أن يكون وليّ أمر الآخر ، فالاب يدّعي بهذا الحق لأن له صفة الأبوة ، والابن يدّعي بهذا الحق لأنه أكبر من أبيه وأوعى منه ، وأكثر نضجاً .

حدث هذا كلّه ، أيها القارئ السعيد ، ونحن لم نتحدث اليك عن عائلة محسن . فلقد أشرفت السيدة سنية على تربية أولادها حتى أكملوا مراحل التعليم واشتغل قسم منهم في الاعمال الحرّة والقسم الآخر وجد وظيفة في الحكومة . وقد تزوج اثنان من أولادهما وأصبحت حماة ، وقد اصيبت بالآلام العصبية كعادة الحموات . وكانت هي وأولادها بين الحين والآخر يجلسون سوية للحديث ، وبعد أن تفرغ جعبتها من القيل والقال تتذكر محسن ووالدتها ، فكان ابناؤها في السنوات الأولى يمنونها برجوعهما، ولكنهم قطعوا خيط الرجاء في السنوات الأخيرة ، فأخذوا يشاركونها الحسرة والاسف ، ويلعنون السفن الفضائية ورحلاتها المشؤومة .

ومن الصدف اللطيفة أيضاً أن الفرق بين عمر سنية وعمر والدتها كان ثمانية عشر عاماً ، ولما عادت والدتها بالسلامة أصبحتا في عمر واحد ، ونظراً لأن الوالدة دبّ فيها النشاط وأصبحت تفكر تفكيراً علمياً فلم تعد تزعج العائلة بالآلام العصبية ، واكتفت بأن رأت ابنتها وهي تقوم بهذه المهمة خير قيام . أما محسن فقد رأى أن سنية تكبره بأعوام عديدة ، فلم تعد تزعجه بطلباتها الكثيرة ، وأصبح على ابنائها أن يتحملوا نفقات معالجتها . وقد سددت حماته ديونه قبل سفره ، فخلا إلى عامه وعمله وعاش مع عائلته في أحسن حال وأنعم بال .

وعند هذه النتيجة الحميدة ، نمسك عن الاحاديث الفريدة .

وفي (الليلة الأخيرة) قالت :

أيها القارئ السعيد ، ليس فيما روينا عليك شيء يدعو إلى الدهشة أو الغرابة . فقد كانت السفينة الفضائية التي تقل محسن وحماته وبقية الركاب ، تسير بسرعة خارقة تقارب سرعة الضوء (٩٩,٩٩٩٩٩٩٩ بالمئة)

وفي سرعة كهذه سيتباطأ الزمن داخل السفينة بحيث يبدو لمن فيها أن الثانية عشر عاماً وكأنها نهار واحد فقط . لأننا إذا عوضنا في المعادلة سنجد أن عامل التباطؤ هو ٧٠٠٠٠ مرة . إن كل شيء في السفينة سيبدو طبيعياً لركابها ، فساعاتهم تمشي وكأن الثانية عشر عاماً نهار واحد ، والنبض والتنفس يسيران وفق دقائق هذه الساعات وثوانيها أي وفق الزمن الجاري داخل السفينة الفضائية . والبيضة المسلوقة تحتاج إلى وضعها في الماء الغالي فوق النار مدة خمس دقائق حسب زمن السفينة ، والقهوة تحتاج تحضيرها إلى دقيقتين فقط ، والطعام الساخن الملفوف جيداً يحتاج إلى بضع ساعات لكي يبرد ، وليس يهمنا إذا كانت بضع الساعات في السفينة تعادل تسع سنوات على الكرة الأرضية .

وليس ذلك فقط ، بل إن التفكير نفسه يتباطأ ، فالراكب في السفينة يحتاج إلى دقيقة أو دقيقتين أو خمس دقائق لحل أحجية ، وهو لا يعلم أن الدقيقة في السفينة تعادل خمسين يوماً على الأرض . وزيادة على ذلك فإن الراكب فيها لا ينمو في هذه المدة الا كما ينمو في يوم واحد حسب ساعته وهو على الأرض .

إن كل شيء يتباطأ بالنسبة نفسها ، ضربات القلب والتنفس وعمليات الهضم والتفكير والنمو وجميع العمليات الكيماوية والطبيعية الأخرى .

ولو كانت الرحلة إلى مسافة ابعد من الشعرى اليمانية وتستغرق خمسين أو ستين سنة ، فسيرجع الراكب ويجد أن أحفاده أكبر منه سناً .

وسوف يتساءل القارئ السعيد ، وما الذي سيحدث إذا ما سار الإنسان بسرعة الضوء ؟

إذا عوضنا في المعادلة سنجد أن معامل التباطؤ يصبح صفراً . وبضربه في الزمن يصبح الزمن صفراً . أي ان السائر بسرعة الضوء لا زمن له ، إذ يقف قلبه عن النبض ورئتاه عن التنفس ودماغه عن التفكير وجسمه

عن النمو ، وستكون النار باردة ، والبيض الموضوع عليها لن ينضج ، وستقف كل العمليات الطبيعية والكيماوية . فوقانا الله جميعاً من أن نسير بسرعة الضوء .

وبناء على هذا التدرج في المنطق ، سيسأل القارئ سؤالاً آخر ، وما الذي سيحدث إذا كان الانسان يسير بأسرع من الضوء ؟

إن هذا التدرج المنطقي سوف يدلنا على أن الزمن سيرجع القهقرى ، فالذي يسافر اليوم يعود بالأمس !!!

وحسب هذا المنطق قيل الشعر التالي :

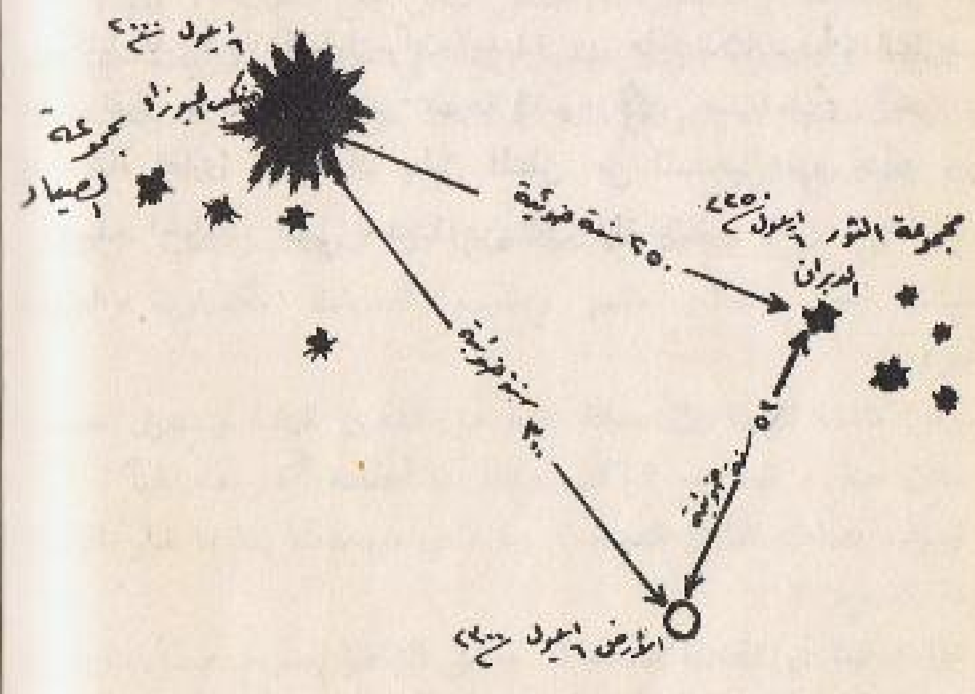
وفتاة جامحة   للفضاء طامحة
تسبق الضوء إذا   تركتنا سارحة
غادرتنا اليوم ثم   أتتنا البارحة

ولكننا قد كررنا القول مرات عديدة في هذا الكتاب بأن النظرية النسبية تقول باستحالة السير بسرعة الضوء لأي جسم مادي آخر ، وإذا شاء القارئ السعيد أن يطبق المنطق على المستحيل فهو وشأنه .

وبهذه الجولة ، ننهي حديثنا عن الف ليلة وليلة .

الزمن هو البعد الرابع

أجد نفسي هنا مضطراً لتكرار مثل كنت قد ذكرته في أول البحث ، ولكني سأكرره بشكل آخر آملاً أن لا ينتبه القارئ إلى أنه قد مرّ عليه فيما سبق .



(شكل ١٧)

أبعاد مجموعة الثور والصياد

إذا نظرنا إلى الشكل (١٧) نجد أن الأرض تبعد ثلاثمئة سنة ضوئية عن نجم منكب الجوزاء **Betelgeuse** الموجود في مجموعة الصياد . وتبعد مسافة ثلاثة وخمسين سنة ضوئية عن نجم الدبران **Aldebaran** الموجود في مجموعة الثور ، بينما يبعد هذان النجمان — منكب الجوزاء والدبران — عن بعضهما البعض مئتين وخمسين سنة ضوئية .

لنفرض الآن ان انفجاراً حدث في منكب الجوزاء في السادس من ايلول سنة ٢٠٠٠ ميلادية (وهذا التاريخ وما يلي من تواريخ ، هو بناء على حساب الزمن المتبع عندنا في الأرض) . إننا لن نستطيع — نحن سكان الكرة الأرضية — أن نرى الانفجار أثناء وقوعه ، لأن بعد منكب الجوزاء عنا ٣٠٠ سنة ضوئية . وهذا يعني أن أشعة الضوء التي سوف تنقل أخبار الانفجار تحتاج إلى ٣٠٠ سنة حتى تصلنا . وهذه هي الطريقة الوحيدة التي يمكن أن تخبرنا عن وقوع الانفجار . وسيكون تاريخ الانفجار بالنسبة لنا هو ٦ ايلول سنة ٢٣٠٠ ، بينما سيكون تاريخ الانفجار بالنسبة للنجم الدبران ٦ ايلول سنة ٢٢٥٠ ، لأن الاخير يبعد ٢٥٠ سنة ضوئية عن منكب الجوزاء .

وهكذا ، فإن هذا الحادث المعيّن وقع في أوقات مختلفة بالنسبة لأماكن مختلفة .

ولقد كان العلم ما قبل النظرية النسبية يحدد موقع الشيء بتحديد موقعه المكانيّ واستعمال المتر أو اليارد أو مضاعفاتهما في سبيل ذلك . ولم يكن الزمن يدخل في حساب تحديد الموقع لأنه كان يعتبر نفس الشيء لجميع الأمكنة في هـذا الكون . أمـا الآن فإن نظرتنا للزمن تختلف كلياً .

وما دامت الأجرام السماوية — وهي التي تحدد بوجودها مواقع معينة من الفضاء — في حركة دائمة مستمرّة ، فلا يمكن تحديد مكان الا بتحديد الزمن معه ، لا سيما وأن لكل مكان زمن خاص به . فالنجم الدبران ،

الذي يبعد عنا ثلاثة وخمسين عاماً ضوئياً ، يرى الأرض الآن حيث كانت قبل ثلاثة وخمسين عاماً . ولو كانت له كواكب وفيها بشر أوتوا من وسائل التقدم في البصريات ما يستطيعون بها رؤية الأرض وما عليها من احداث ، لكانوا في هذه اللحظة يشاهدون عظمة الامبراطورية العثمانية ، واتساع روسيا القيصرية . انهم يجهلون حتى الآن قيام الحرب العالمية الأولى ، بله الثانية ، وسيبدأون بعد بضع سنوات (أي في اليوبيل الثالث والخمسين لقيام الحرب العالمية الأولى على الارض بالنسبة لنا) يقولون : « ها قد نشبت حرب على سطح الكرة الأرضية » ، وسيرون المعارك الطاحنة التي دامت أربع سنوات ويتتبعونها بقدر ما تسعفهم الآلات المتيسرة لديهم . إنهم يرون الأرض الآن في موقع معين ، هو الموقع الذي كانت فيه قبل ثلاث وخمسين سنة . فلا يمكن لسكان كواكب الدبران أن يحددوا موقع الحرب العالمية الأولى من الكون دون أن يقرنوها بالزمن . وإذا قالوا إن الحرب العالمية الأولى وقعت على سطح الأرض ، فلن يكون هذا كافياً لتحديد موقعها بالنسبة للكون . فالارض متحركة وهي في كل لحظة في مكان غير المكان الذي كانت فيه في اللحظة التي سبقتها .

ونحن في حياتنا العادية إذا أردنا أن نحدد حادثاً معيناً كاللقاء مع صديق أو اصطدام سيارة ، فاننا عادة نذكر المكان ثم نذكر وقت الحادث ، ولكننا نعتبر أن الوقت أو الزمن منفصل تمام الانفصال عن المكان .

أما النظرية النسبية فترى أنه بعد من الابعاد .

وبالاضافة إلى ذلك ، فالزمن يتغير حسب السرعة ، بنفس العامل الذي يتغير فيه البعد المتحرك باتجاه السرعة (انكماش الطول) . وهذا العامل هو $\sqrt{1 - \frac{ف^2}{س^2}}$ ، ويصبح الزمن صفراً في

اللحظة التي يصبح فيها الطول صفراً وذلك عندما تصبح سرعة الجسم هي سرعة الضوء .

إذن ، فالعلاقة بين الابعاد المكانية (الطول والعرض والارتفاع) والبعد الزمني هو أوثق مما كنا نظن . بل إن النظرية النسبية تعتبر البعد الزمني بعداً رابعاً تضيفه إلى حساباتها .

ومهما أجهدنا مخيلتنا وعصرنا قريحتنا فاننا لن نستطيع أن نتصور جسماً بأربعة أبعاد . فإلى أي جهة سوف يمتد البعد الرابع ؟ وهل سيكون عمودياً على الابعاد الثلاثة الأخرى ؟ إننا إذا أمسكنا مكعباً نموذجياً نرى أن ابعاده الثلاثة عمودية على بعضها البعض فكيف يكون البعد الرابع ؟

لكن لماذا نحاول أن نتخيل الزمن كبعد يمكن رسمه على الورق ؟ وما هو لزوم ذلك ؟ إننا حتى قبل ظهور النسبية ننظر إلى الزمن على أنه يحدد صفة لها بعد بشكل ما ، من طبيعة الاجسام ، سواء عند وقوع حادث لها ، أو عند نشوئها أو فنائها . فلنتخيله كذلك الآن ، ولكن لنعرف أنه ذو صفة أقرب إلى الابعاد المكانية مما كنا نتصور ، لننظر الآن إلى البيت الذي نعيش فيه على أنه جسم فيزيائي له ابعاده المكانية ، طوله وعرضه وارتفاعه وله بعد آخر ، يمتد منذ إنشائه في الناحية الزمنية ، وينتهي عند دماره بشكل من الاشكال ، سواء أكان ذلك بزلزال — لا سمح الله — كما حدث في أغادير فقطع الابعاد الزمنية لبيوتها وعماراتها ، أو شاء صاحب البيت هدمه علينا لأننا تأخرنا في دفع قيمة الايجار أو لبناء بيت آخر مكانه ، أو ما إلى ذلك .

ويجب أن نعلم ان البعد الزمني يختلف من حيث طبيعته عن الابعاد المكانية . فبينما نقيس الزمن بدقات الساعة ، نقيس المسافات بالمتر واليارد . والمتر (أو اليارد) يمكن أن نمسكه بأيدينا فنقيس به الطول ، ثم نغير اتجاهه فنقيس به العرض ، ثم نغير اتجاهه مرة أخرى فنقيس به الارتفاع . بينما لا يمكن أن نقيس به البعد الرابع مهما غيرنا اتجاهه . وبالإضافة إلى

ذلك فإننا نستطيع أن نتحرك داخل الابعاد المكانية حيث نشاء ، فنسير إلى الأمام ، ونرجع إلى الخلف ، ونلتفت فنسير إلى اليمين أو إلى الشمال ، ونصعد ونهبط أنى شئنا ، بينما نسير في تيار الزمن باتجاه معين رغم انوفنا ، لا نستطيع أن نعود فيه القهقرى .

ولهذا فإننا نستطرف الشعر الذي يتلاعب بتقديم الزمن وتأخيره ، كقول أحمد شوقي في رثاء مكتشف توت عنخ آمون :

أفضى إلى ختم الزمان ففضه وحبا إلى التاريخ في محرابه
وطوى القرون القهقرى حتى اتى فرعون بين طعامه وشرابه

أما أحمد رامي فإنه يحاول أن يسبق الزمن حين يقول في قصيدة تغنيها ام كلثوم :

من كتر شوقي سبقت عمري وشفت بكره والوقت بدري

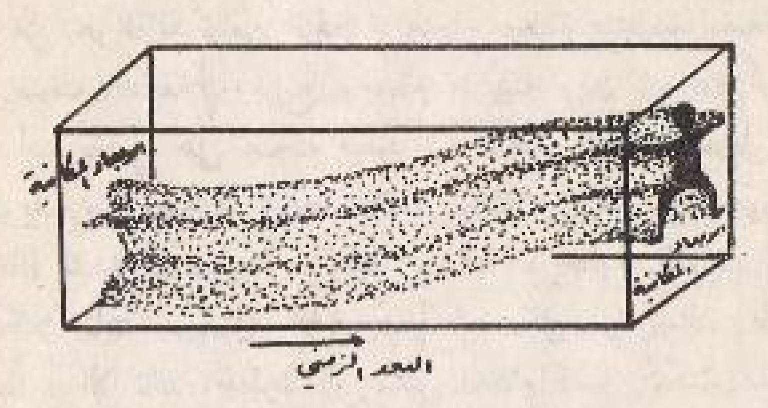
لكن هذا كله كلام شعراء ، وترجع حلاوته إلى تحدّي المفاهيم التي يدركها الناس بطبيعتهم عن الزمن .

مهما يكن من أمر ، وعلى الرغم من اختلاف طبيعة البعد الزمني عن الابعاد المكانية ، فإننا لا نزال نستطيع أن نعتبره بعداً رابعاً عندما نتعرض لبحث الحوادث الكونية ، على أن لا ننسى أنه ذو طبيعة مختلفة .

وعلى ذلك ، فإذا نظرنا إلى مكعب نموذجي ، من وجهة نظرنا النسبية ، يجب أن نعتبر أنه مكعب عاديّ سيمكث في الوجود مدّة معينة من الزمن ، وليس من الضروري أن يكون البعد الزمني عمودياً على ابعاده الاخرى .

ووجهة النظر هذه لا تنطبق على المكعب وحسب ، بل تنطبق على الاجسام الفيزيائية جميعها بما في ذلك الكائنات الحيّة . ولهذا يجب أن تنظر إلى نفسك أيها القارئ على أن ابعادك المكانية ممتدة أيضاً في اتجاه

زمني معيّن يبتدئ بولادتك وينتهي بعد عمر طويل إن شاء الله . ويمكن أن نرسم شكلاً بيانياً لحياة الانسان كالشكل (١٨) الذي يظهر فيه بعدان فقط يمثلان الابعاد المكانية (وذلك لتعذر رسم ثلاثة ابعاد) ، وبعد ثالث أفقي وهو عموديّ عليهما يمثل الزمن .



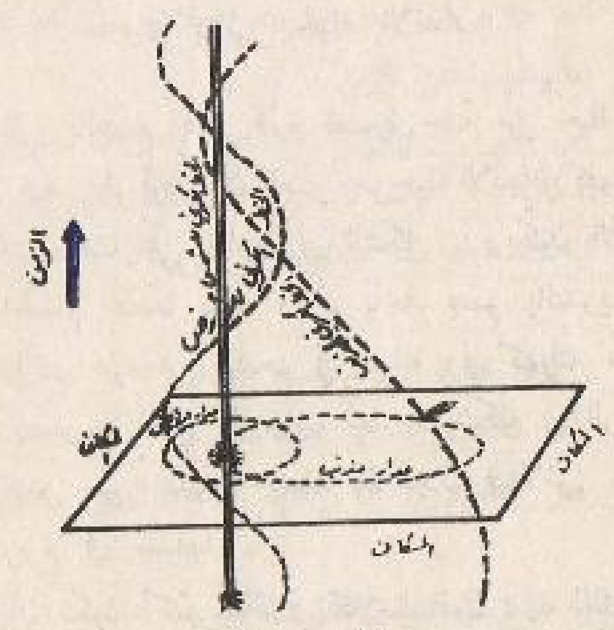
شكل (١٨)

رسم بياني لحياة الانسان

والشكل البياني بالطبع يمثل فترة قصيرة جداً من حياة الانسان ذي البعدين المرسوم فيه . ولو أردنا أن نعبّر عن حياة الانسان كلها لاحتجنا إلى صورة أطول بكثير مما هي ظاهرة في الشكل . ويكون الانسان فيها في البداية صغير الحجم عندما يولد ، ثم يأخذ ينمو بالتدريج وإذا هرم أخذ يفقد ما تراكم عليه من الشحم في شبابه وفي كهولته ، ونجد عندئذ أن شكله أخذ يصغر ، حتى إذا مات نجد أن شكله في الرسم البياني يظلّ ثابتاً مدة من الزمن حتى يبتدئ جسمه بالانحلال فيتلاشى شكله في الرسم وتأخذ ذراته تتوزع في سبيلها .

وإذا أردنا أن نكون أكثر دقة في كلامنا نقول : إن ذلك الشكل البياني يمثل عدداً من الذرات متجمعة مع بعضها البعض بحيث تعطينا صورة الانسان ذي البعدين . وهي في حالة تجمعها على هذا الشكل تكوّن لنا

الانسان المعيّن الذي نتحدث عنه . ولكل ذرة من الذرات خط بياني يمثلها . والانسان الظاهر في الشكل هو مجموعة هذه الخطوط البيانية . وهذه الذرات تزيد وتنقص حسب الظروف التي يمرّ بها الإنسان في حياته من طفولة ، فنموّ حتى يبلغ مبلغ الشباب ويكتسب الصحة الجيدة ، فحبّ يبدأ يهزل من جرّائه مدّة من الزمن ، فزواج وحياة منتظمة لبضعة شهور تعيد اليه صحته السابقة ، فنزاع وخصام ما بينه وبين زوجته أو حماته أو زوجة أبيه يقضي على صحته فيعود اليه النحول المقترن بالترهل نتيجة تحطيم معنوياته من مصائب زوجة الاب والاولاد والديون . حتى يقضي الله امراً كان مفعولا . فيموت . ونجد عندئذ أن خطوط الذرات البيانية أخذت شكلاً ثابتاً لفترة من الزمن ثم أخذت كل ذرة تسلك طريقها الخاص بها ، الا تلك الخطوط التي تمثل العظام فانها تمكث مدة أطول حتى تنحل .



شكل (١٩)

الخط الكوني للشمس والأرض

وفي لغة الهندسة النسبية يعرف الخط الذي يمثل تاريخ حياة كل جسيم « بالخط الكوني » لذلك الجسيم . والجسم الكبير يمثله في الرسم البياني حزمة أو أكثر من الخطوط الكونية .

وفي الشكل (١٩) تظهر الخطوط الكونية للشمس والأرض وأحد المذنبات . والمكان ممثل فيه ببعدين فقط ، كما فعلنا في الرسم البياني السابق ، وقد رسم على مستوى مدار الأرض ، أما محور الزمن فيظهر عمودياً عليه .

ويظهر الخط الكوني للشمس كخط مواز لمحور الزمن ، وذلك لأن الشكل البياني يهمل حركة الشمس اهمالاً كلياً ، ويعتبرها ثابتة (وذلك خشية تعقيد الرسم فقط) . بينما يظهر الخط الكونيّ للأرض — التي تتحرك في مدار شبه دائري حول الشمس — على صورة خط لولبيّ يدور حول الخط الكوني للشمس بانتظام . أما الخط الكوني للمذنب فهو لولبي أيضاً الاّ أنه مرة يبتعد كثيراً من خط الشمس الكوني ، ومرة يقترب منه كثيراً .

نرى من هذا كله ، أن هندسة الابعاد الأربعة للكون ، تدمج المكان بالزمان في صورة منسجمة تمام الانسجام . وما علينا إلاّ أن ندرس خطوطاً كونية عديدة للذرات والكائنات والنجوم .

التكافؤ بين الزمان والمكان :

أشرنا مرتين فيما سبق إلى الأرقام الزمنية التي تستعمل لقياس المسافات (أي الابعاد الفضائية) . ونحن بدلاً من أن نقول إن البعد ما بين عمان والقدس تسعون كيلومتراً ، نقول عادة إن البعد ساعة من الزمن . وهذا في الواقع ما يتفاهم به سائقو السيارات ، وإن كانوا بقولهم هذا لا يكترثون لقوانين السير على الطرق الذي يحدد السرعة القصوى بستين كيلومتراً في الساعة فقط . ونحن نفهم من قولهم هذا أنهم يقطعون الكيلومترات التسعين في مدى ساعة من الزمن ، فاسمعي يا دائرة السير .

والطريقة نفسها هي التي يتبعها علماء الفلك في قياس الابعاد الفضائية الشاسعة ، إلا أنهم عندئذ لا يتخذون سرعة السيارة أساساً يستندون عليه ، إنما يستندون على سرعة الضوء .

ومن المعروف أن سرعة الضوء تساوي ٢٢٩٧٧٦ كيلومتراً في الثانية ، أو ١٨٦٣٠٠ ميلاً –ثانية .

وبناء على ذلك ، فإن الضوء في سنة كاملة يقطع المسافة التالية :
٢٢٩٧٧٦ × ٦٠ × ٦٠ × ٢٤ × ٣٦٥ = ٩٤٦٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ كيلومتراً.
أو ١٨٦٣٠٠ × ٦٠ × ٦٠ × ٢٤ × ٣٦٥ = ٥٨٧٩٠٠٠٠٠٠٠٠٠ ميلاً .

وعندما يستعمل الفلكيون السنة الضوئية لقياس المسافات ، فإنهم يعنون بها هذا العدد من الكيلومترات أو الاميال التي يقطعها الضوء في مدة سنة .

ولا يهمنا في الواقع عدد الكيلومترات أو الأميال التي تدلنا عليها السنة الضوئية في بحثنا هذا . ولكن المهم لدينا هو أننا أصبحنا نستعمل الوحدات الزمنية للدلالة على ابعاد فضائية . وفي هذا اعتراف ضمني بأن الزمن بعد من الابعاد . وهو اصطلاح كان يستعمل حتى قبل ظهور النظرية النسبية .

ونستطيع أيضاً أن نعكس العملية ونتكلم عن الميل الضوئي ، والكيلومتر الضوئي ، واجزائهما الضوئية . فالميل الضوئي هو الزمن الذي يستغرقه الضوء لقطع مسافة ميل واحد . وهو يساوي ٠,٠٠٠٠٠٥٤ ثانية . وبالمثل فالقدم الضوئي يساوي ٠,٠٠٠٠٠٠٠٠١١ ثانية ، وهكذا .

وعلى ذلك ، فإذا أمسكنا مكعباً نموذجياً وكان طول كل ضلع من اضلاعه قدماً واحداً ، فإن علينا أن نعتبر أن بعده الزمني ٠,٠٠٠٠٠٠٠٠١١ ثانية ، لكي يبقى نموذجياً من وجهة نظرنا ذات الابعاد الأربعة . أما إذا فرضنا أن عمر المكعب كان شهراً من الزمن ، فسوف لا نعتبره نموذجياً لأن بعده الزمني ممتد امتداداً هائلاً تجاه الزمن .

المسافة في عالم الأبعاد الأربعة

ما دمنا قد عرفنا الوحدة التي يمكن أن نقارن بها الامتداد الفضائي بالامتداد الزمني ، نستطيع الآن أن نتساءل عن المسافة في عالم الابعاد الأربعة وعن كيفية الوصول إلى قياسها .

إننا نعرف أن المسافة في الفيزياء الكلاسيكية هي البعد بين نقطتين من المفهوم أنهما ثابتتان . ولكن الفيزياء النسبية ترى أن كل شيء متحرك ، والشيء نفسه لا يكون في لحظتين متتاليتين في الموضع نفسه ، ولهذا تدخل الزمن في حسابها .

والمسافة في الفيزياء النسبية هي البعد بين نقطتين متحركتين ، أو البعد بين حادثتين (فالحركة بذاتها حادث يدخل في الحساب) تفصل بينهما فترة زمنية بالإضافة إلى الفترة المكانية .

إن قياس المسافة في عالم البعد الواحد أمر بسيط جداً ، لا يتعدى أن تحمل مسطرة أو متراً أو ياردا وتسجل المسافة بين نقطتين . ولنفرض أنك كنت تجلس في سوق الخضار في عمان ، وأردت أن تقيس المسافة بينك وبين الجامع الحسيني الكبير ، فما عليك إلا أن تحضر حبلاً وتشده ما بين المكانين وتقيس طوله . ولنفرض أنك وجدت طول الحبل ثلاثمائة

ياردة ، فيكون هذا الرقم هو طول المسافة ما بين النقطتين ، وتقول عندئذ أن البعد ما بين المكان الذي تجلس فيه في سوق الخضار والجامع الحسيني ثلاثمائة ياردة (٩٠٠ قدماً) .

أما القياس في عالم البعدين ، فنلجأ فيه عادة إلى طريقة أخرى إذا تعذر أن نقيس المسافة مباشرة ما بين نقطتين . وهذه الطريقة هي تطبيق نظرية فيثاغورس في الهندسة المستوية التي تقول بأن المربع المقام على وتر المثلث القائم الزاوية يساوي مجموع المربعين المقامين على الضلعين الآخرين . وتسمى هذه النظرية أيضاً بنظرية الحمار نسبة إلى الشكل الذي تحصل عليه فيما لو رسمت مربعات على اضلاع المثلث القائم الزاوية ، لا نسبة إلى فيثاغورس .

وإذا أردت أن تقيس المسافة ما بينك وبين نادي عمان ، عندما كنت تجلس في سوق الخضار ، فيمكنك أن تستنتج طولها من قياسين : أحدهما هو البعد ما بينك وبين الجامع الحسيني الكبير ، وقد قلنا أنه يبلغ ٣٠٠ ياردة (أو ٩٠٠ قدماً) والآخر هو البعد ما بين الجامع الحسيني الكبير ونادي عمان وقد قسته بطريقة الحبل المشدود فوجدت أن المسافة بينهما ٤٠٠ ياردة ، أو (١٢٠٠ قدماً) . فتكون المسافة ما بينك وأنت جالس في سوق الخضار وبين نادي عمان هي كما يلي :

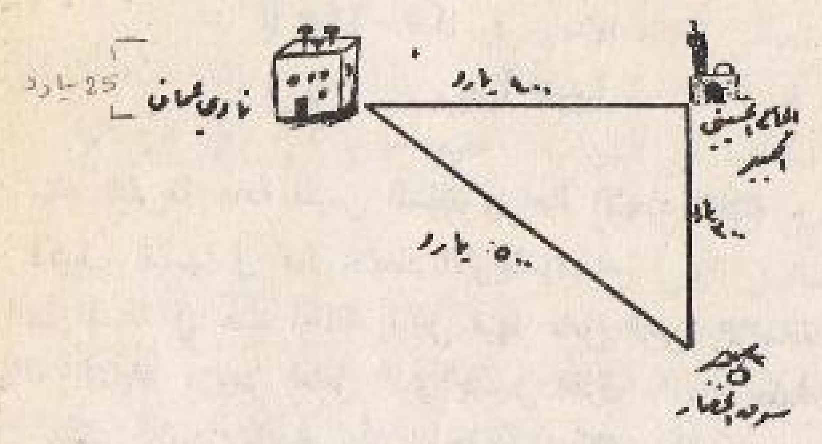
$$= \sqrt{(٣٠٠)^2 + (٤٠٠)^2}$$

$$= \sqrt{٩٠.٠٠٠ + ١٦٠.٠٠٠}$$

$$= \sqrt{٢٥٠.٠٠٠}$$

= ٥٠٠ ياردة

وإذا جعلنا أرقامنا بالأقدام فسوف نحصل على جواب قدره ١٥٠٠ قدماً .



كيف تقيس المسافة بينك وبين نادي عمان وأنت جالس في سوق الخضار

(شكل ٢٠)

أما في عالم الابعاد الثلاثة فالأمر لا يختلف كثيراً ، وما علينا عندئذ إلا أن نجري تطبيق نظرية فيثاغورس نفسها ، ولكن نضع مربع الابعاد الثلاثة تحت علامة الجذر التربيعي في هذه الحالة .

ولنفرض أن زوجة أبيك كانت تجلس على سطح نادي عمان في الوقت الذي كنت تجلس فيه في دكان في سوق الخضار ، وأردت لشدة الاشتياق أن تعرف المسافة ما بينك وبين زوجة ابيك . ولنفرض أن ارتفاع سطح نادي عمان عن الارض خمسة وعشرين ياردا ، وأنت تعرف البعدين الآخرين : ما بين نادي عمان والجامع الحسيني الكبير ٤٠٠ ياردا ، وما بينك وبين الجامع الحسيني الكبير ٣٠٠ ياردا . فسيكون بعدك في هذه الحالة عن زوجة أبيك العزيزة ما يلي :

= √((٤٠٠)² + (٣٠٠)² + (٢٥)²)

= √٢٥٠٦٢٥

= ٥٠١ ياردا تقريباً .

بهذه الطريقة عادة نقيس المسافة في عالم الابعاد الثلاثة .

فكيف نقيسها في عالم الابعاد الأربعة ؟

*إن المسافة في هذه الحالة يدخل فيها عامل الزمن بالاضافة إلى العوامل الثلاثة السابقة ، وهو العامل الذي يسجل الفرق ما بين حادثين . ولنوضح ذلك بالمثال المعهود . لنفرض أن زوجة أبيك كانت تجلس على سطح نادي عمان مع بعض القريبات والصديقات يحتفلن بعيد ميلادها السابع والثمانين (أي الثالث عشر قبل المئة) ، ومرّ ذكرك على لسان احداهن فقالت زوجة ابيك « يا له من بخيل ! » نطقت هذه الجملة في الوقت الذي دقت فيه ساعة الراديو العاشرة صباحاً . وكنت انت في ذلك الوقت في سوق الخضار تستمع إلى الراديو الموجود في الدكان ، وقد ناديت حمالاً يحمل الفواكه التي اشتريتها ، وأخذت تدفع ثمنها لصاحب الدكان ، وكان باهظاً جداً كما هي العادة ، وسألك البائع الذي اشفق عليك لما رأى أنك تفرغ كل ما في محفظتك له « ولِمَ اشتريت كل هذا ؟ » فقلت احتفاءً بعيد ميلاد زوجة ابيك . فقال بائع الخضار « هنيئاً لزوجة ابيك بك » فقلت « يا لها من طيبة ! » نطقت هذه الجملة الأخيرة وانت تنظر إلى ساعتك استعداداً لمغادرة الدكان ، فوجدت أن عقرب الدقائق يشير إلى تمام الدقيقة الواحدة بعد العاشرة . فما هي المسافة المكانية الزمانية التي تفصل ما بينك وبين زوجة ابيك : عندما ذمتك وعندما مدحتها ؟

إننا عندما نريد أن نقوم بهذه العملية الحسابية يجب أن تكون العوامل

كلها متشابهة ، ويجب علينا أن نحول الزمن إلى ابعاد طولية . فالدقيقة في المسألة السابقة يجب أن نحولها إلى ياردات أو اقدام أو أي وحدة أخرى بحيث تماثل العوامل الثلاثة الأخرى في المسألة .

وبما أننا قد أخذنا منذ البداية نقيس بالياردات ، إذن علينا أن نحوّل الدقيقة إلى مكافئها من الياردات . ففيها ستون ثانية وفي كل ثانية ١٨٦٣٠٠ ميل وفي كل ميل ١٧٦٠ يارد .

إذن فالفاصل الزمني وحده يساوي :

٦٠ × ١٨٦٣٠٠ × ١٧٦٠

ونبدأ بتطبيق نظرية فيثاغورس السابقة ، فنجد مربع الطول ومربع العرض ومربع الارتفاع ومربع الفاصل الزمني ، ونضع علامة الجذر التربيعي ، وبدلاً من أن نجمعها كلها مع بعضها البعض ونضعها تحت علامة الجذر التربيعي كما هو منتظر ، نجد أن آينشتاين يفاجئنا مفاجأة غريبة ويقول ، إننا نجمع مربع الطول مع مربع العرض مع مربع الارتفاع ونطرح من ذلك مربع الفاصل الزمني ، أي نضع قبل رقمه علامة ناقص ونجد الجذر التربيعي للناتج .

وعلى ذلك ، فالمسافة الزمانية المكانية التي تفصل بينك وبين زوجة ابيك ، بين ذمّها إياك ومدحك إياها ، هي كما يلي :

= √((٣٠٠)² + (٤٠٠)² + (٢٥)² − (٦٠ × ١٨٦٣٠٠ × ١٧٦٠)²)

وقد يبدو الجواب غريباً لضخامة العامل الزمني بالنسبة للعوامل الثلاثة الأخرى ، إذ نحصل على الجذر التربيعي للعدد الناقص . ولكن الواقع هو أن تطبيقات النظرية النسبية في حياتنا العادية تعطينا نتائج غريبة دائماً . أما لو حاولنا أن نطبقها على مسافات شاسعة كتلك التي بين النجوم والكواكب ، فستعطينا نتيجة معقولة .

ولنأخذ على ذلك مثلاً من النظام الشمسي نفسه . الحدث الأول هو

انفجار القنبلة الذرية في بكيني الساعة التاسعة من صباح اليوم الاول من شهر تموز سنة ١٩٤٦ ، والحدث الثاني هو سقوط نيزك على سطح المريخ ، في الدقيقة الأولى بعد التاسعة من صباح اليوم نفسه . وعلى ذلك فسيكون الفاصل الزمني (بالاقدام) ٥٤٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ قدماً ضوئياً ، وسيكون الفاصل الفضائي ٦٥٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ قدماً . وستكون المسافة ذات الابعاد الأربعة ما بين الحدثين :

$$= \sqrt{(65 \times 10^{10})^2 - (54 \times 10^{10})^2} \text{ قدماً}$$

$$= 36 \times 10^{10} \text{ قدماً.}$$

وهذا القدم الأخير (واليارد في المثل السابق) ، يختلف اختلافاً كلياً عن القدم الذي يستعمل لقياس المسافات الخالصة والقدم الضوئي الذي يستعمل لقياس الزمان الخالص .

إن الغرابة التي تنطوي عليها المعادلة السابقة تستوجب أن نتحدث عنها بعض الحديث لزيادة الاستيعاب .

إن آينشتاين يرى في النظرية النسبية أن كل شيء متحرك ، ولا يكون الشيء نفسه في المكان نفسه في لحظتين متتاليتين ، ويرى أيضاً أن الزمن هو بعد رابع ، كما سبق وقلنا ، إذن ففي قياس المسافة ذات الابعاد الاربعة يجب أن يدخل العامل الزمني ، لأن المسافة في عالم الابعاد الأربعة هي الفاصل الزماني المكاني بين حادثتين .

ويقول آينشتاين في النظرية النسبية : « **يمكن تحديد المسافة ذات الاربعة ابعاد بتعميم بسيط لنظرية فيثاغورس ، وهذه المسافة تلعب دوراً أساسياً في العلاقات الفيزيائية بين الاحداث الكونية ، أهم من الدور الذي يلعبه الفاصل المكاني وحده أو الفاصل الزماني وحده .** »

وإذا كان علينا أن نستعمل الوحدات المكانية والوحدات الزمانية في معادلة

واحدة ، كان علينا أن نجد وحدات متشابهة ، كما أننا إذا أردنا أن نجمع فلسات مع دنانير فإننا نقوم بتحويل أحد العاملين إلى الآخر قبل أن نبدأ بعملية الجمع .

وكما رأينا فيما سبق ، فإن آينشتاين يستعمل سرعة الضوء ترجماناً ما بين الابعاد المكانية والابعاد الزمنية .

فالثانية الزمنية = ١٨٦٣٠٠ × ١٧٦٠ يارداً .

أو = ١٨٦٣٠٠ × ١٧٦٠ × ٣ قدماً .

وبما أن التعميم البسيط لنظرية فيثاغورس ، كما يفهم لأول وهلة ، هو جمع مربعات العوامل الاربعة واستخراج الجذر التربيعي للمجموع ، فسوف نرى اننا إذا قمنا بهذا الحساب على هذا الشكل كان معنى ذلك أننا لم نعد نرى أي فرق بين الزمان والمكان اطلاقاً . ومعنى ذلك أيضاً أننا نستطيع أن نحوّل الزمان إلى مكان والمكان إلى زمان . وآينشتاين نفسه لا يستطيع أن يقوم بسحر كهذا .

ولذلك ، فإذا أردنا أن نقوم بهذه العملية الحسابية ، يجب أن نعمل شيئاً ما داخل معادلة فيثاغورس لكي نحافظ على طبيعة البعد الزمني . ويرى آينشتاين اننا نستطيع أن نحافظ على الاختلاف الطبيعي بين المسافات المكانية والمسافات الزمنية **بوضع علامة ناقص** قبل مربع العامل الزمني . وعلى ذلك ، **فإن المسافة ما بين حدثين تساوي الجذر التربيعي لمجموع مربعات الابعاد المكانية ناقص مربع البعد الزمني** . (بعد تحويله طبعاً إلى مكافئه المكاني) .

وقد يعترض المرء ، وله الحق في أن يعترض ، على هذه الهندسة الغريبة غير المنطقية التي يعامل فيها أحد العوامل بغير ما تعامل به العوامل الأخرى ، ولكن يجب أن لا ننسى أن أيّ نظام رياضي — وضع لكي يصف الكون الفيزيائي — يجب أن يوضع على الشكل الذي يناسب ظواهر الكون . وإذا كانت ظاهرة المكان تختلف عن ظاهرة الزمان في

طبيعتها ، فيجب أن توضع الهندسة ذات الابعاد الأربعة بناءً على هذا الأساس .

ويرى العالم مينكوفسكي **Minkovskij** أن تطبيق نظرية فيثاغورس على هذا الشكل ما هو في الواقع إلاّ امتداداً لهندسة اقليدس نفسها . وكل ما عملناه هو أننا اعتبرنا العامل الزماني خيالياً عندما ضربناه في √— ١ .

ومن المعروف في الحساب أنك تستطيع أن تقلب الرقم خيالياً إذا ما ضربته في √— ١ . وقد قمنا بذلك لأننا رأينا أن طبيعة الزمان تختلف اختلافاً كبيراً عن طبيعة المكان ، والرقم الذي يدلّ عليه هو خياليّ محض .

فإذا اعتبرنا أن الرقم الزماني هو خيالي وأنه يحمل علامة ناقص بطبيعته كان لدينا في المثل الأول الارقام التالية :

البعد الأول : ٣٠٠ يارد
البعد الثاني : ٤٠٠ يارد
البعد الثالث : ٢٥ يارد
البعد الرابع : (٦٠ × ١٨٦٣٠٠ × ١٧٦٠) × √— ١

وإذا أخذنا هذه العوامل على شكلها هذا ، والعامل الرابع يحمل علامة ناقص بطبيعته ، كانت المسافة ذات الابعاد الأربعة هي مجموع مربعات هذه العوامل . وهذا تطبيق حرفيّ لنظرية فيثاغورس بعد تعميمها .

سأل شيخ مصاب بالروماتيزم صديقه الصحيح الجسم كيف استطاع

أن يتجنب الروماتيزم ، فقال الصديق :

— « إنني استحم بالماء البارد كل صباح ، طيلة حياتي . »

فهز الشيخ رأسه ونظر إلى صديقه وقال :

— « إذن فأنت مصاب بحمامات المياه الباردة بدل الروماتيزم . »

فإذا شاء القارئ فله أن يستعمل نظرية فيثاغورس المصابة بالروماتيزم ، وعلامة الاصابة هي وضع علامة ناقص قبل مربع الزمن . وإذا شاء فله أن يعطي عامل الزمن حمام ماء بارد فيضربه في √— ١ .

كيف ينقلب المكان الى زمان والزمان الى مكان

لا حول ولا قوة إلاّ بالله . إن العنوان ليدلنا على اننا مقدمون على موضوع فيه من الغرابة ما لم نعهده حتى الآن .

كنا – ولا نزال – إذا قرأنا قصص ألف ليلة وليلة وقصة الملك سيف بن ذي يزن وابي زيد الهلالي ، نستغرب ونستطرف قصص السحر والجن . وليس أطرف من أن يستولي علاء الدين على مصباحه السحريّ فيخرج له العفريت يلبي رغباته . وهذه الرغبات لا تتعدى مفاهيم مألوفة لدينا بولغ في تضخيمها . فهو ينقله من مكان إلى آخر بسرعة خارقة لا أظن أنها تضاهي سرعة الطائرة النفاثة . وهو يحضر له من الأكل ما لذّ وطاب ، أو من الملابس ما خف حمله وغلا ثمنه ، وهذه كلها أشياء تتيسر لكثير من الناس (عدا الكاتب والقارئ على ما أظن) . ولكننا إذا نظرنا إلى هذه الامور من وجهة النظر العلمية الصحيحة وجدنا أنها كلّها سخف وهراء ، لا أساس لها من الصحة ، نهز لها الأكتاف استخفافاً

أما إذا جاء آينشتاين قائلاً إنك أيها القارئ يمكن أن تنقلب كلك أو جزء منك إلى زمان ، فنقول له : « أبدعت إنك لعبقري تستحق التصفيق » . ونأخذ نصفق له حتى تتهرأ أيدينا . ونقول لبعضنا البعض (أو على الأقل ، فإن العلماء الذين يفهمون هذه الامور أكثر مني ومنك ، يقولون لبعضهم البعض) : « هذا كلام علميّ يجب التصفيق لقائله » .

وأنت أيها القارئ السعيد (وأخاطبك الآن بوصفك عالماً) استكثرت على الجنّي أن ينقل علاء الدين من مكان إلى آخر بسرعة لا تقول القصة فيها أنها تتجاوز سرعة الطائرة النفاثة ، ولم تصدق القصة نظراً لتفكيرك العلمي العميق . فاستمع الآن إلى آينشتاين وهو يحوّلك إلى زمان . وأنت مصدقه طبعاً !!!

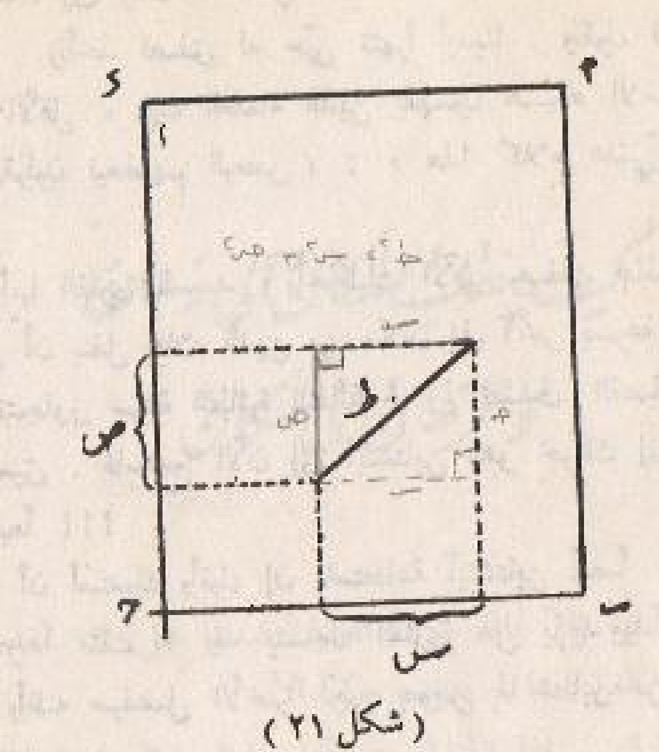
ويجب أن أستدرك وأقول إن باستطاعة آينشتاين أيضاً أن يحوّل زمانك فيجعله جزءاً منك ، وقد يتساءل القارئ هل يزيد يداً أم رجلاً أم دماغاً ، وأظنه سيفضل الأخير لكي يعوض ما تطاير من الدماغ أثناء قراءة نظريته .

ولنرجع الآن ، قليلاً ، إلى الرسومات البيانية .

لنفرض أن لدينا عالماً مكوناً من بعدين فقط ، وهذا العالم هو المستطيل ا ب جـ د الظاهر في الشكل (٢١) . طوله ا ب وعرضه ب حـ . وفي هذا العالم جسم مستطيل طوله ط قدماً . والمطلوب منا الآن أن نعرف مدى امتداد الجسم (ط) في ناحية الطول ، ومدى امتداده في ناحية العرض ، أي مدى امتداده في بعدَي العالم الذي هو كائن فيه .

إننا نفرض عندئذ رسماً بيانياً من الشكل نفسه ، فيه ب حـ الاحداث الافقي وفيه د حـ الاحداث العمودي . وننزل مساقط من طرفي الجسم ط على الاحداثين ، فيكون امتداده في ناحية العرض س وامتداده في ناحية الطول ص (كما هو ظاهر في شكل ٢١) . وبحسب نظرية فيثاغورس

يكون مربع ط مساوياً لمجموع مربع س مع مربع ص



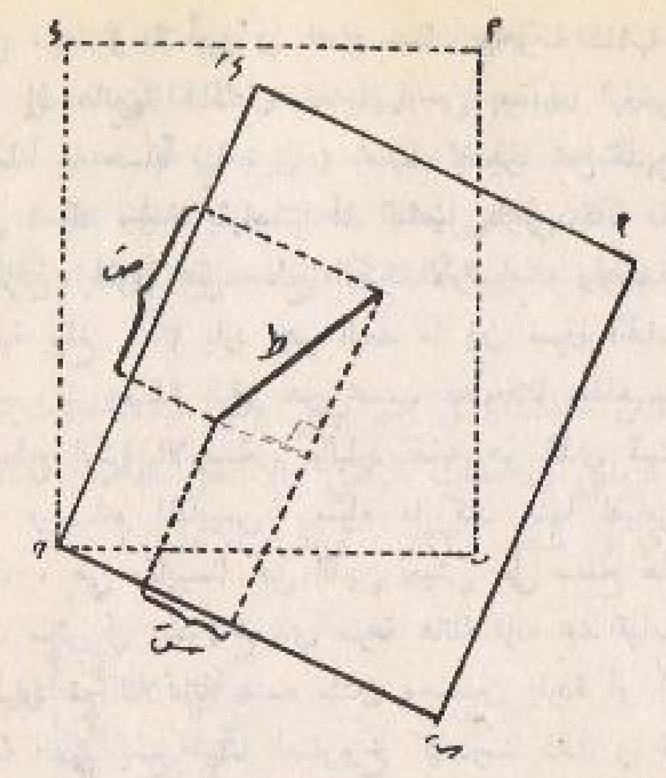
(شكل ٢١)

مساقط جسم في عالم ذي بعدين

أي ط^{2} = س^{2} + ص^{2} .

ولنفرض الآن أن احداثي الرسم البياني قد مالا بمقدار زاوية معينة كما في شكل (٢٢) ، بحيث أصبح العالم ذو البعدين اَ بَ حـَ دَ بدلاً من ا ب حـ د . فسيكون امتداد ط في ناحية العرض سَ وفي ناحية الطول صَ .

ونجد أيضاً أن :



(شكل ٢٢)

انحراف احداثي الرسم البياني

ط^{2} = سَ^{2} + صَ^{2}

وهي كما عرفنا = س^{2} + ص^{2}

أي أن مربعات مساقط ط في الرسم البياني لا يتغير مجموعها فهي دائماً تساوي مربع ط .

ويجب علينا ، في الواقع ، مما فهمناه من النظرية النسبية أن نعتبر أن الأبعاد المكانية والبعد الزمني بين حادثتين ما هي إلاّ مساقط للفاصل الزماني المكانيّ الأساسي بين الحادثتين .

وزيادة في ايضاح هذا المفهوم نذكر القارئ بالوقت الذي كان يجلس فيه في سوق الخضار وحركة لسانه عندما مدح زوجة أبيه ، والوقت الذي

كانت تجلس فيه زوجة أبيه في نادي عمان وحركة لسانها عندما ذكرته بغير الخبر . إن هاتين الحادثتين تفصلهما عن بعضهما البعض فترة زمانية مكانية ، عملنا لها حساباً فيما سبق ، بحسب تقديرنا نحن الذين نعيش على سطح الارض . وقد وجدنا بقياساتنا أن الفاصل الزمني كان دقيقة واحدة من دقائق الزمن الجاري على سطح الكرة الأرضية . ووجدنا أن أحد الابعاد المسافية يبلغ ٣٠٠ يارد وهو البعد ما بين سوق الخضار والجامع الحسيني الكبير ، وهذا الرقم هو بحسب معلوماتنا ومفاهيمنا عن طول اليارد على سطح الكرة الارضية . واليارد نفسه هو الذي قسنا به البعدين الآخرين . وهذه المقاييس ، سواء ما كان منها لقياس الزمان أو لقياس المكان ، هي مقاييسنا نحن الذين نعيش على سطح هذا الكوكب .

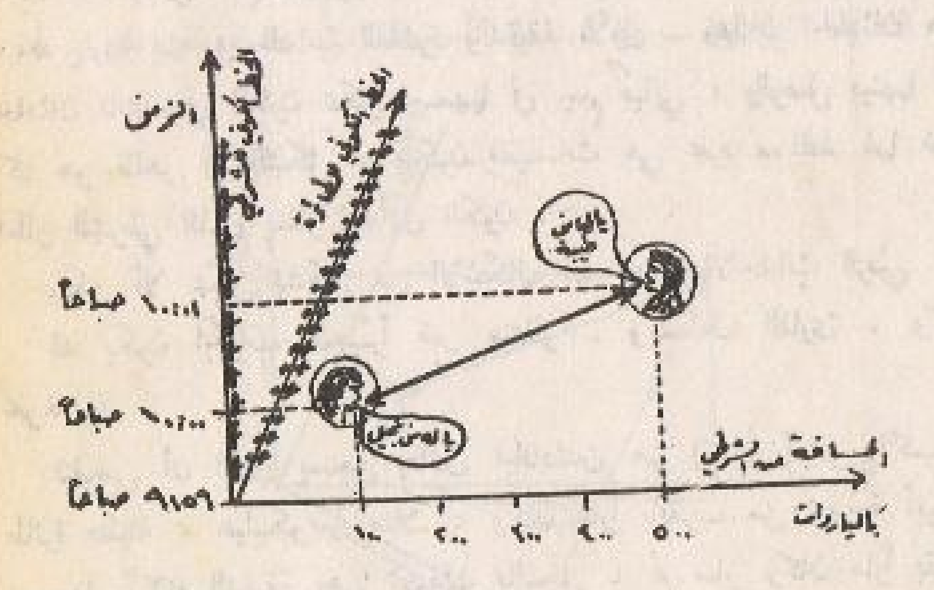
أما إنسان سائر في صاروخ ذي سرعة هائلة فإنه يجد قياسات مختلفة . فقد تكون الياردات الثلاثمائة عنده مئتين وخمسين ياردة أو أقل من ذلك حسب السرعة التي يسير بها الصاروخ كما درسنا ذلك في قانون انكماش الطول . والدقيقة التي حسبناها قد يجدها هذا الانسان أكثر من ذلك ، حسب قانون تباطوء الزمن مع السرعة . وهكذا فإن هذا الانسان يجد قياسات زمانية ومكانية غير التي وجدناها في قياساتنا نحن .

وإنسان غيره في كوكب آخر أو في صاروخ آخر أو في مجموعة شمسية أخرى يجد قياسات زمنية ومكانية (تفصل بين الحدثين نفسهما) خاصة به . وقياساته هذه تعتمد على سرعته النسبية بالنسبة للحدثين . وهكذا .

فكل إنسان مارّ بسرعة تختلف عن الآخر بالنسبة للحدثين سيجد للأبعاد الاربعة قياسات خاصة به ، وكلّها صحيحة بالنسبة للمشاهد الذي قام بتسجيلها . وليس هناك إنسان يمكن أن نعتبر ان قياساته هي القياسات المطلقة ، فكل القياسات هي بالنسبة لمن يشاهدها ، كما أصبحنا نعرف الآن .

والواقع أن هناك حادثتين قد وقعتا ، في مثلنا السابق ، وليس لدينا شك في وقوعهما . ولكن الابعاد الزمانية والمكانية التي تفصل بينهما تختلف بحسب حركة المشاهد بالنسبة لهما . إذن يمكن أن نعتبر أن كلّ مشاهد ينظر إلى هذا الكون ضمن إطار خاص به ، وأن الابعاد التي يسجلها ما هي إلاّ مساقط هاتين الحادثتين على احداثي الزمان والمكان في الرسم البياني .

ولنضع هاتين الحادثتين في رسم بياني يكون فيه الاحداث العمودي دالاً على الفاصل الزماني والاحداث الافقي دالاً على الفاصل المكانيّ . ولنرسم الحادثتين . كما في شكل (٢٣) . ويكون الإحداثان عندئذٍ ، طبعاً ،



(شكل ٢٣)

رسم بياني للحادثتين

هما بالنسبة لنا نحن الواقفين على سطح الارض ، سواء الاحداث الدالّ على امتداد الزمن أو ذلك الذي يدلّ على امتداد المكان . أو ، بعبارة

أخرى ، يكون هذان الاحداثان مساقط للأبعاد الزمانية المكانية ضمن الإطار الخاص الذي نرى به الكون .

ولنفرض أن الذي يسجل وقوع هذه الحوادث هو شرطي واقف على ظهر بناية المختبر الحكومي ويبعد عن نادي عمان حوالى مئة يارده ، وعنده من الآلات الدقيقة ما يسمع بها كلامك وكلام زوجة أبيك ، فيكون خط الزمن في الرسم البياني هو الخط الكوني للشرطي ، وتراه في الشكل (٢٣) واقفاً قرب خطه الكوني ، رافعاً يده متعجباً ، لا أدري من كلامك أم من كلام زوجة ابيك أم منكما معاً .

إن هذا الشرطي يسجل كلام زوجة ابيك الذي وقع على بعد مئة ياردة منه ، في تمام العاشرة صباحاً . يسجل كلامك الذي وقع على بعد ٥٠٠ ياردة منه في الساعة العاشرة والدقيقة الأولى . وهذان الحادثان هما حادثان ثابتان في الكون يمكن رسمهما في رسم بياني ، والوصل بينهما بخط كما هو ظاهر في الشكل ، وتكون القياسات هي مجرد مساقط لها ضمن اطار الشرطي الذي ينظر به إلى الكون .

ولكن ألا يمكن بشكل من الاشكال أن نحرف الاحداث الزمني ؟

قد يكون الجواب محيراً غير منتظر . ويتساءل القارئ ، وكيف نحرفه ؟

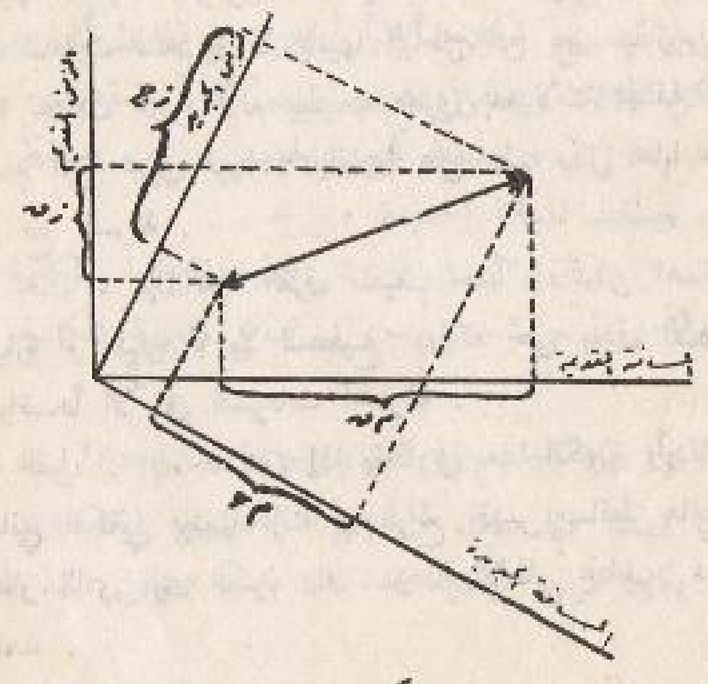
لنفرض أن الذي يسجل هاتين الحادثتين هو إنسان آخر راكب في طائرة بطيئة ، هيليكوبتر مثلاً ، وكان ماراً بالقرب من زوجة أبيك ، وسمعها بآلاته الدقيقة وهي تصفك بالبخل ، ثم سار وكان ماراً بقربك وسمعك تصفها بالطيبة . ستكون المسافة الفاصلة بينك وبينه في هذه الحالة أقل من ٥٠٠ يارد (وهو الرقم الذي سجله الشرطي السابق) . وسنضطر عندئذ أن ندير المحور العمودي (الاحداث الزمني) ، بحيث تقرب الطائرة اليك . والخط الذي ترسمه في الواقع هو الخط الكوني للطائرة .

وعلى ذلك يمكن أن نقول : عندما نريد أن نرسم رسماً بيانياً للفاصل

الزماني المكاني بين حادثتين من مكان متحرك يجب علينا أن ندير محور الزمن بزاوية معينة (ويعتمد مقدار الزاوية على مقدار سرعة المكان المتحرك) وعلينا أن نترك محور المكان كما هو .

ومع أن هذه الحقيقة من وجهة نظر الفيزياء الكلاسيكية هي الحقيقة المنطقية المعقولة التي لا مراء فيها ، إلاّ أنها تتنافى مع مفاهيمنا النسبية تنافياً شديداً . فنحن نعتبر أن العالم مكون من أربعة أبعاد وأن الزمن هو البعد الرابع ، إذن ، يجب أن يكون عمودياً على احداث المكان (الاحداث الافقي) مهما كان الأمر ، سواء أخذنا قياساتنا ونحن واقفون أو كنا نركب سيارة أو طيارة أو صاروخاً .

وعند هذه النقطة تختلف الفيزياء الكلاسيكية اختلافاً شديداً مع الفيزياء النسبية . وعلينا — ما دمنا قد أصبحنا من علماء الفيزياء — أن



شكل (٢٤)

دوران الرسم البياني السابق

نرمي بالحقائق المنطقية المعقولة (وهل فعلنا غير ذلك في كتابنا هذا ؟) التي تنادي بها الفيزياء الكلاسيكية ، وأن ندير محور المكان لكي يصبح دائماً عمودياً على محور الزمان ، كما في شكل (٢٤) .

لكن إذا كان انحراف محور الزمن يعني فيزيائياً أن المسافة (البعد المكاني) التي تفصل بين الحادثتين لها قيم مختلفة تتغير بحسب سرعة المشاهد فبالمثل ، إن إدارة محور المسافة يعني أن فترة الزمن التي تفصل بين الحادثتين لها قيم مختلفة تتغير بحسب سرعة المشاهد .

وعلى ذلك ، فإن الشرطي الواقف على ظهر بناية مختبر الحكومة ، قد سجل فترة من الزمن بين الحادثتين تختلف عن الفترة الزمنية التي سجلها الراكب في الهيليكوبتر . ونود أن نذكر القارئ مرة أخرى أن هذا الفرق في الزمن لا علاقة له إطلاقاً بنوع الساعة التي يحملها كل منهما أو لخراب فيها . فإننا نفرض دائماً في ابطالنا الذين نضرب بهم الامثال أنهم يحملون ساعات سحرية لا يأتيها الباطل من بين عقاربها ولا من خلفها . إنما يختلف الزمن لأنه بطبيعته يجري بمعدلات مختلفة تعتمد على سرعة الأجسام التي يجري فيها . والقارئ على علم بكل هذا من قانون تباطؤ الزمن مع السرعة .

على أية حال ، فإن هذا الفرق طفيف جداً ، يمكن اهماله إذا كنا نسير في سيارة أو طيارة ، ولا نستطيع ادراكه حتى بأدق الأجهزة ، ولا يظهر أثره واضحاً الا في السرعات الخارقة .

وخلاصة القول : ان حادثتين إذا وقعتا في هذا الكون وأردنا أن نقيس الفاصل الزماني المكاني بينهما، فإننا في الواقع نقيس مساقط هاتين الحادثتين بالنسبة للإطار الذي نرى الكون منه . وهذا الإطار يختلف دائماً بحسب حركة المشاهد .

فماذا نستنتج إذن من هذا الحديث كله ؟

نرى من الشكل (٢٤) اننا إذا نظرنا إلى الفترة الزمانية المكانية بين

الحادثتين ضمن اطار معين ، فإننا نجد أن مربع المسقط على محور المكان ومربع المسقط على محور الزمان يساويان دائماً مربع الفترة الزمانية المكانية بين الحادثتين .

وإذا نظرنا إلى الفترة نفسها ضمن إطار آخر دار فيه محور الزمن ، فسنجد عندئذ أن المسقط على المحور المكاني قد قصر ، لأن المسافة التي أصبحنا نسجلها قد قصرت . فيكون مربع هذا المسقط أقل من مربع المسقط المماثل عندما كنا ننظر إلى الفترة نفسها ضمن إطار آخر . وحيث أن مربع المسقط على المحور المكاني (أي مربع المسافة) مع مربع المسقط الجديد على محور الزمن يساويان دائماً مربع الفترة الزمانية المكانية بين الحادثتين ، وهذه لا يحدث عليها أي تغيير ، إذن كان لا بد أن تكون هناك زيادة في مربع المسقط على محور الزمن ، لكي تعوض النقص الحاصل في مربع المسافة .

ولكي لا يصبح الكلام ألغازاً أرجو من القارئ أن يلقي نظرة أخرى على الشكل (٢٤) ويتمعن فيه ، ولنسم كل مسقط باسمه ، فمسقط الزمن القديم « ز ق » ومسقط الزمن الجديد « ز ح » ومسقط المسافة القديمة « م ق » ومسقط المسافة الجديدة « م ح » .

فيكون : (ز ق)^{٢} + (م ق)^{٢} = الفترة الزمانية المكانية بين الحادثتين

وكذلك : (ز ح)^{٢} + (م ح)^{٢} = الفترة الزمانية المكانية نفسها فهي لم تتغير .

إذن : (ز ق)^{٢} + (م ق)^{٢} = (ز ح)^{٢} + (م ح)^{٢} .

ولكننا فهمنا فيما سلف أن (م ح) المسافة الجديدة قد قصرت . إذن يجب أن يكون الزمن الجديد قد طال بنسبة يعوض فيها عن النقص في المسافة .

أي بعبارة أخرى ، فإن ما فقدناه من المسافة قد تعوض لدينا في الزمن .

أي أن المسافة تنقلب إلى زمن !

وهكذا فإننا نرى أن آينشتاين يشتغل فينا ما يشتغله الحاوي . فيقف وفي يده العصا السحرية أمام المنضدة وعليها ساعة . ويمسك قبعته أمامنا ويقلبها ليدلنا على أنها فارغة ويديرها لنا لنرى بأم أعيننا ذلك ونتاكد منه ، ثم يمسك بالساعة ويضعها في القبعة ويقول : « جلا ، جلا ، جلا ، يا شمهورش يا مركان ، عبروض يا ملوك الجان ، وانت أيها الملك الأحمر ، احضر إلى هذا المكان ، وببركة خاتم سليمان اقلب الزمان إلى مكان » ثم يخرج يده من داخل القبعة وبدلاً من أن يخرج الساعة التي وضعها نجده يخرج مسطرة !

ويعيد الفصل نفسه مرّة أخرى ، فيدخل المسطرة ويخرجها ساعة ... وهكذا ...

والفرق بين الحاوي وآينشتاين أن الأول تصفق له الجماهير الجاهلة وينظر اليه العلماء شزراً ، أما الثاني فيصفق له العلماء ، وتتبعهم الجماهير الجاهلة تصفق دون أن تدري شيئاً .

ويجب علينا الآن ان نجيب على سؤال سأله القارئ عندما بدأنا هذا الفصل . فقد قلنا أن باستطاعة آينشتاين أن يحوّل زمان القارئ فيجعله جزءاً منه ، وسيتساءل إن كان سيزيد يداً أم رجلاً أم دماغاً ، وقد يفضل الأخير لتعويض ما تطاير من الدماغ أثناء قراءة نظريته .

الواقع أن القارئ السعيد سيبقى كما هو ، لن يتغير فيه شيء . وإنما إذا كان هناك مشاهد مارّ بسرعة خارقة بالنسبة له ، فإنه سيجده منكمشاً عما نراه به نحن ، وهذا الانكماش سيعوض عنه لدى المشاهد بالزمن ، فسيرى أن زمن القارئ قد تباطأ . وكلما زاد الانكماش كلما تباطأ الزمن .

وأظن الآن أن الوقت قد حان لنرجع إلى سؤال كنا قد وجهناه إلى القارئ عندما كنا نبحث في قانون تباطؤ الزمن مع السرعة وعندما تطرقنا إلى موضوع السير بسرعة الضوء . وقد ذكرنا الفتاة الجامحة التي تسبق

الضوء في سيرها والتي تركتنا اليوم ثم عادت البارحة . وسيدرك القارئ أن التسلسل المنطقي الذي تتبع به الشاعر تباطؤ الزمن كلما زادت السرعة ، يحتم على الشاعر أن يرجع الزمن القهقرى فيما لو زادت السرعة عن سرعة الضوء .

ولكنا قلنا قبلاً أن السير بسرعة الضوء هو أمر مستحيل استحالة قطعية في النظرية النسبية . ومع ذلك ، فإذا شئنا أن نتتبع هذه القضية من الناحية العلمية وفق النظرية النسبية ، فإننا نصل إلى نتيجة هي أغرب من تلك التي توصل اليها الشاعر .

إذا شئنا أن ندرس هذه الفتاة الجامحة عندما تسير بأسرع من الضوء ، فعلينا عندئذ أن ندير محور الزمن أكثر من زاوية قائمة في الرسم البياني شكل (٢٤) . وسنجد آنذاك أن طولها قد أصبح كله زمناً ، وأن زمنها قد أصبح طولاً ، أي اننا عندئذ نبدأ نرى الزمان مكاناً والمكان زماناً ! !

هل تحب أيها القارئ أن يصبح شكلك هو زمانك ، وزمانك هو شكلك ؟ إذا كنت وسيم الطلعة وكان زمانك جائراً عليك ، فلا شك انك تفضل أن تسير بأسرع من الضوء ، لكي يصبح زمانك حلواً وسيماً ، ولكن شكلك عندئذ سيكون ظالماً مخيفاً .

أما إذا كنت مثلي تشكو من الناحيتين ، فابق على ما أنت عليه .

والحالة الوحيدة التي سنتفق عليها في تمنياتنا أنا وانت ، هي أن نرسل ديناراً ذهبياً له من العمر ألف سنة أو يزيد ، لكي يسير بأسرع من الضوء . فسنجد أن عمره سيتحوّل كله إلى دنانير لا أظن أحداً يستطيع إحصاء عددها غير آينشتاين نفسه . ولكنها دنانير مطبوعة حديثاً . ولا أدري إذا كنت ستقبلها عندئذ . فهناك قوم لا يحبّون إلاّ الدنانير المعتقة .

ولكن ما بالنا يشتط بنا الحديث فنورد أمثالاً على أشياء تسير بأسرع من الضوء ؟ إن في الغرابة التي نجدها في النظرية النسبية كفاية لنا . ففيها

تبدو النتائج العلمية الصحيحة – إذا نظرنا اليها للوهلة الاولى – غريبة جداً . بيد أن غرابة هذه النتائج ، على الرغم مما يسندها من اثباتات علمية ، تجعلنا نحسّ بيننا وبين أنفسنا بأننا قد حدنا عن جادّة الصواب ، وأن بنا شبه مسّ من جنون فأبحنا لأنفسنا أن نتعداها ونتخطاها إلى ما تقول النظرية بأنه مستحيل ، ونحمّلها ما هي براء منه .

فلنصلّ على النبيّ ، ولنرجع إلى المثل الذي يضربه آينشتاين بنفسه على تحويل الزمان إلى مكان والمكان إلى زمان .

لنفرض أن رجلاً مسافراً يجلس في قطار متحرك ، في عربة الطعام أمام إحدى الموائد قرب النافذة . وهناك خادم المطعم يقف في طرف العربة في انتظار الأوامر ، إنك لو سألت الخادم عن المكان الذي أكل فيه الرجل طبق الحساء والمكان الذي أكل فيه الفاكهة ، بعد أن أنهى الطعام الرئيسي ، لقال لك إنه اكلهما في المكان نفسه . لكن لنفرض أن القطار مرّ عن أحد العمال الواقفين لصيانة السكة الحديدية ورآه وهو يشرب الحساء ، واستمر القطار في سيره ، وبعد أن قطع عدداً من الاميال ، مرّ عن عامل آخر ، ورأى الرجل وهو يأكل التفاحة ، فسيكون الحادثان – شرب طبق الحساء وأكل التفاحة قد وقعا في مكانين متباعدين .

وعلى ذلك يمكن أن نقول : **إذا وقع حادثان في المكان نفسه لكن في لحظتين مختلفتين من وجهة نظر مشاهد ، فيمكن اعتبارهما أنهما قد وقعا في مكانين مختلفين إذا نظر اليهما مشاهد آخر في حالة حركية أخرى .**

ومن حيث التكافؤ المكاني الزمني المطلوب يمكن أن نضع الجملة نفسها في قالب آخر ، فنعوض كلمة مكان بكلمة لحظة والعكس . فتصبح الجملة كما يلي :

إذا وقع حادثان في اللحظة نفسها ، لكن في مكانين مختلفين من وجهة نظر مشاهد ، فيمكن اعتبارهما أنهما وقعا في لحظتين مختلفتين إذا نظر

اليهما مشاهد آخر في حالة حركية أخرى .

وتطبيقاً لهذه الجملة نفرض أن هناك رجلين في عربة الطعام ، كلّ يجلس في طرف منها ، وكان الخادم واقفاً ينظر اليهما معاً ، فوجد كل رجل منهما يخرج لفافة التبغ ويشعلها في نفس اللحظة التي أشعل فيها الآخر لفافته . فسيكون الخادم على استعداد لأن يقسم اليمين بأن الرجلين اشعلا اللفافتين في اللحظة نفسها . ولكن عاملاً واقفاً على الارض ناظراً للعربة من خلال النوافذ ، سيرى أن أحدهما قد أشعل لفافته قبل الآخر ، وهو على استعداد لأن يقسم اليمين على ذلك . وكلاهما – الخادم والعامل – لا يحنث بيمينه .

وعلى ذلك : **إذا وقعت حادثتان في اللحظة نفسها من وجهة نظر مشاهد ، فان هاتين الحادثتين – من وجهة نظر مشاهد آخر ، في حالة حركية أخرى ، ستكونان منفصلتين عن بعضهما البعض بفترة زمانية معينة .**

إن هذه هي النتائج الحتمية التي لا مفر منها في النظرية النسبية التي ترى أن الكون مكوّن من أربعة أبعاد ، وأن الزمان والمكان ما هما إلاّ مساقط على احداثي الرسم البياني نراهما ضمن إطار خاص بنا .

• • •

بهذا أيها القارئ نختم حديثنا عن النظرية النسبية الخاصة .

كنا قبل أن نقرأ هذا الحديث ، إذا سمعنا إنساناً يهدد إنساناً آخر ويقول له : « سوف أخلط طولك في عرضك » نجد أن التهديد أمر مبالغ فيه ، ونخشى أن يكون الكلام موجهاً الينا – لا سمح الله .

ولكننا إذا بحثنا كلمات التهديد من ناحية علمية ، نرى أن هذا الانسان يجرؤ على خلط بعدين معاً : الطول في العرض . إنه إنسان جريء جداً ، نخشاه في الواقع إذا كنا نعرف أنه سيضع تهديده موضع التنفيذ ، ونحاول أن نبتعد عنه ما أمكننا الابتعاد ، وننظر اليه نظرتنا إلى

الجاهل الذي يمتهن الابعاد ولا يحترمها .
أما الآن ، فإن السيد آينشتاين يأتينا من ناحية أخرى ، ويمسك بما نملك من معلومات فيزيائية سابقة راسخة ، ويلقيها على الأرض ، ويتسلم لا بعدين فقط ولا ثلاثة ابعاد ، انما يتسلم ابعادنا كلها — طولنا وعرضنا وارتفاعنا ، وزماننا . ويأخذ يعجن فيهـا عجناً ويخلطها في بعضها خلطاً ويمطها ويعصرها ويلويها كيف شاء ، ونحن نصفق له مبتسمين ، ونقول له « شكراً » .
شكراً يا سيد آينشتاين !

النظرية النسبية العامة

الفضاء

استعداد

إذا كنت أيها القارئ السعيد قد تنفست الصعداء من وعثاء سفرتنا خلال دروب النظرية النسبية الخاصة ، ومسالكها الوعرة ، وإذا كنت قد استعدت ما فقد منك من اتزان وهدوء أعصاب ، فأرجو منك الآن أن تستعد لسفرة مماثلة أخرى ، أقصر شوطاً ولا تقل عنها متعة وغرابة .

إن السيد آينشتاين لا يريد أن يتعبنا كثيراً هذه المرّة ، إنما سيحاول أن يثبت لنا بعض الامور البسيطة جداً !! منها أنه لا توجد جاذبية ! ولا يوجد خط مستقيم ! وأن الخط المستقيم ليس أقصر مسافة ما بين نقطتين ! وأن الفضاء محدّب ! والزمان محدّب :... نعم ، الزمان محدّب! ولن يحاول أن يثبت أن مفاهيمنا قد تحدبت بعد قراءة نظريته ، لأن هذا الأمر سيكون من البداهة بمكان عظيم بحيث لا يحتاج إلى اثبات .

وأظن أن هذه الامور التي سيثبتها أصبحت سهلة بسيطة بالنسبة لك الآن ، أيها القارئ اللبيب ، وتكاد تكون على علم بها قبل قراءتها ، لسهولتها بالنسبة للعالم العلامة الذي أصبحته بعد فهمك لما سلف . وما حديثي فيها إلا حبّاً في الثرثرة معك . والثرثرة هي إحدى متع الحياة التي منّ الله بها على عباده ، وآثر بها الجنس اللطيف كله، ونفراً غير

قليل من الجنس الخشن. فهنيئاً لهؤلاء واولئك بهذه المتعة التي تحمل مميزات عديدة أهمها أنها تزيح عن الانسان عبء التفكير في أي شيء، لا سيما في مثل مواضيع هذا الكتاب.

ولكن مالنا أخذنا نبتعد عن موضوع الحديث؟ ولنتكلم عن الفضاء الذي يملؤه الجنس اللطيف بثرثرته.

الفضاء:

كلنا يعرف ما هو الفضاء، وان كان من الصعب أن نجد له تعريفاً. فالأرض والكواكب الأخرى والشمس والنجوم الأخرى تسبح في الفضاء. وقد كان من السهل علينا أن نعرّفه قبل دراسة النظرية النسبية الخاصة بقولنا إنه الحيّز الموجود في هذا الكون والذي يملؤه الأثير وتسبح فيه الاجرام السماوية. أما الآن، وبعد أن اسقطنا الأثير من حسابنا فيمكن أن نقول إنه الحيّز الذي تسبح في بعض بقاع منه أجرام سماوية. أما ما بين هذه الأجرام السماوية فلم يترك لنا آينشتاين شيئاً نملؤه به، لذلك يجب علينا أن نقول إنه فارغ في هذه الأنحاء إلاّ من بعض ذرات العناصر هنا وهناك على مسافات متباعدة.

ويقول نيوتن ابو الفيزياء الكلاسيكية في هذا الموضوع ما يلي: «إن الفضاء المطلق، بطبيعته الذاتية، ودون علاقة مع أي شيء خارجي، يظل دائماً متشابهاً غير متحرك»، وهـذا هو التعريف المنطقي المعقول الذي سارت على مفهومه الفيزياء مـدّة قرنين ونصف قرن مـن الزمن.

على أية حال، أكرر فأقول، إن موضوع الحديث هو ذلك الحيّز الذي يسمّونه الفضاء، سواء كان فارغاً لا شيء فيه، أو كان يملؤه كاتب هذه السطور أو قارئها، أو كانت تملؤه الكرة الأرضية أو الشمس أو أي

شيء آخر.

وبناء على ذلك، فأنت أيها القارئ تجلس الآن في الفضاء، وتحتل قسماً منه، والهواء الذي يحيط بك يحتل قسماً آخر يحيط بقسمك... وهكذا...

وباستطاعتك أن تقوم وتمشي في هذا الفضاء إلى اليمين وإلى الشمال وإلى الامام وإلى الخلف. كما تستطيع أن تصعد إلى أعلى إذا كنت مثلي تسكن في طابق علويّ، وتستطيع أن تنزل إلى أسفل، بعد أن تنتهي زيارتك لصديق مثلي يسكن في طابق علوي وتهبط السلالم مودعاً بحفظ الله ورعايته. من هـذا يتبين لك أيهـا القارئ ان الفضاء كريم جداً، متسامح جداً، إذ يعطيك حرية التجول فيه في أي اتجاه شئت.

والفضاء، كما يقول نيوتن، متشابه غير متحرك. ويقصد بالتشابـه هنا أنه منسجم متناسق في جميع نواحيه. أي أننا يجب أن نحمل عنـه الفكرة التي نحملها عن الماء الصافي في كأس شفاف. إن أعيننا المجرّدة لا ترى في هذا الماء إلاّ تناسقاً وانسجاماً في كلّ نواحيه، ولن نستطيع أن نقول إن المـاء في بقعة ما أكثف منه في بقعة أخرى.

ومن البديهي أيضاً، بناء على ذلك، أن يكون الخط المستقيم في هذا الفضاء هو أقصر مسافة ما بين نقطتين. وهذا الكلام هو إحدى بديـهيات هندسة اقليدس التي تعلمناها في المدرسة. فأقصر مسافة مثلاً بين الكرة الأرضية وبين النجم القطبي الشمالي هو الخط المستقيم الذي يصل بينهما. وبما أن المعروف بداهة أيضاً أن الضوء يسير في خط مستقيم، فتكون أقصر مسافة بيننا وبـين النجم المذكور هي الخط المستقيم الذي يسير فيه ضوء هـذا النجم حتى يصل الأرض الـتي حيّرهـا آينشتاين بنظريته.

وبناءً على ذلك أيضاً، إذا مرّ في خلدنا يوماً أن ننشئ مثلثاً وهمياً بين الشمس والنجم القطبي والشعرى اليمانية (أي بين ثلاثة نجوم)،

فسيكون هذا المثلث كأي مثلث آخر في هندسة اقليدس : ذا ثلاثة رؤوس ، (كل نجمة في رأس) ، وذا ثلاثة اضلاع ، هي الخطوط التي تصل ما بين هذه النجوم الثلاثة ، وسيكون مجموع زوايا المثلث قائمتين أي ١٨٠° .

أظن أن هذا الكلام بديهي معقول منطقي سليم لا غبار عليه ، ولا مجال للطعن فيه اطلاقاً ، إذ لا تبدو لنا فيه ثغرة نطعنه فيها .

هل تشك في ذلك أيها القارئ ؟

إني أعيذك أن تفعل .

الابعاد مرة اخرى :

يبدو أن الابعاد قد خلقت فينا عقدة نفسية بعد قراءتنا للنظرية النسبية . فلا نكاد نترك الحديث عنها حتى نجد أننا قد عدنا اليها مرّة أخرى .

من السهل أن نتصور عالماً ببعد واحد فقط . وسيكون هذا العالم مجرد خط لا أكثر ولا أقل . وستكون من خصائص هذا العالم ذي البعد الواحد أننا إذا أردنا أن نحدّد نقطة عليه فاننا نكتفي بذكر رقم واحد يدلّ على بعد هذه النقطة عن أحد اطرافه . وقد يكون هذا العالم مستقيماً أو منحنياً حسب الخط الذي نرسمه .

وبهذا المنطق يمكن أن نقول إن النقطة الهندسية هي عالم لا أبعاد له ، أو أن كلّ بعد من ابعاده يساوي صفراً . إذ لا يمكن أن يوجد موضعان مختلفان ضمن نقطة هندسية .

وبالمثل ، فإن السطوح ، سواء كانت مستوية أو محدّبة هي عوالم من بعدين . ويمكن تعيين أي موضع عليها برقمين . ومن السهل أن نتصورها محدبة أو مستوية . فسطح الكرة محدّب ، وسطح الورقة مستوٍ ، وإذا

شئت أن تحدبه فذلك باستطاعتك ، وأنت تفعل ذلك عندما تلوي الورقة لتقلبها .

وأنت وأنا والعالم الذي نعيش فيه والبيت الذي تسكنه والكوخ الذي يسكنه اللاجئ ، والنقود التي تحملها في جيبك ، وآينشتاين نفسه قبل أن يموت ، وعظامه الآن في قبره — كل هذه الأشياء مكوّنة من ابعاد ثلاثة حسب رأي الفيزيائيين الكلاسيكيين .

ومن المفروض أن تكون مفاهيمنا — بما في ذلك المفاهيم الغريبة المستهجنة — هي مفاهيم ذات ابعاد ثلاثة . أي أن الأشياء التي نفكر فيها ويفكر فيها من قلّب الله عقولهم هي أشياء ذات ابعاد ثلاثة .

ومن السهل علينا ، إذا ما أجهدنا أنفسنا بعض الشيء ، أن نحدد أي نقطة في عالمنا بأرقام ثلاثة فقط هي الطول والعرض والارتفاع .

ومن السهل علينا أيضاً — نحن أصحاب المفاهيم ذات الابعاد الثلاثة — أن نتصور عالم البعد الواحد المكوّن من خط واحد ، وأن نحدد نقطة عليه برقم واحد وأن نحنيه ونجعله محدّباً .

وكذلك من السهل علينا أيضاً ، أن نتصور السطح — عالم البعدين — وأن نحدد عليه نقطة برقمين وأن نحنيه ونجعله سطحاً ملتوياً .

والسبب في هذه السهولة هو اننا ننظر إلى عالم البعد الواحد وإلى عالم البعدين **من الخارج** . أي اننا لا نكون داخل هذه العوالم عندما ندرسها أو نحاول أن نحكم عليها .

ولكننا عندما نحاول أن نبحث في عالمنا نجد أن في الأمر بعض الصعوبة فتحديد النقطة فيه يحتاج إلى أرقام ثلاثة ويحتاج إلى استعمال نظرية فيثاغورس مرتين ، ويحتاج إلى بذل تفكير وهذا ما لا يتيسر لكل إنسان . على أية حال فهو متيسر للبعض وهو ليس من الصعوبة بمكان .

ونستطيع أن نتصور أو نرى بأعيننا تحدب جسم ذي ابعاد ثلاثة ،

إذا كان هذا الجسم صغيراً بحيث يقع ضمن مجال النظر . فمن المعقول أن نقول أن ظهري وظهرك قد تحدبا من كثرة الهموم ومن غرابة المنطق الذي نسمعه كلّ يوم . ولما كان ظهري وظهرك هما كناية عني وعنك ، كان معنى هذا الكلام أنك أنت أيها القارئ السعيد ، وأنا الكاتب المتواضع ، قد تحدبنا . وبما أننا كائنات ذات ابعاد ثلاثة ، فنحن إذن مثل صالح على تحدب الشيء **ذي الثلاثة ابعاد** .

أما إذا حاولنا أن ننظر إلى شيء ضخم جداً كالفضاء مثلاً ، فمن الصعب علينا أن نتصور تحدّبه ، إلاّ إذا مططنا مخيلتنا مطّاً شديداً بعد جهد جهيد .

والسبب في هذه الصعوبة في الواقع هو أننا ننظر إلى الفضاء **من الداخل** لأننا نعيش فيه .

ومع كلّ ما توصلنا اليه من صعوبة ، فلا يزال هذا دون الذي يبغي آينشتاين الوصول اليه . فلا يغرب عن بال القارئ أننا لا نزال نتكلم في عالم الابعاد الثلاثة . أما عالم آينشتاين ، وفضاء آينشتاين فهو من اربعة ابعاد .

ولكن قبل أن نصل إلى ذلك ، دعنا نبحث بعض خصائص الفضاء ، فلعل المامنا به يزداد قليلاً .

خصائص غريبة للفضاء :

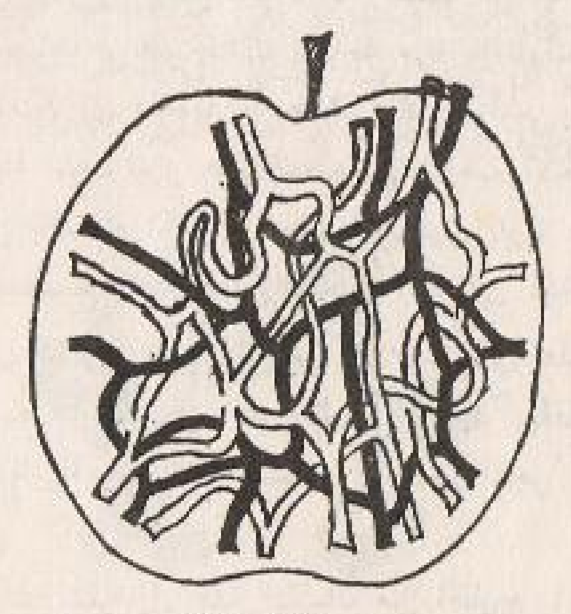
إن نظرتنا إلى الفضاء **من الداخل** هي التي تخلق صعوبة تصوره . ولو استطعنا بشكل من الاشكال أن نجلس خارجه وندرسه ونتفحصه لهان الأمر علينا ووجدناه بسيطاً .

لكن دعنا نتغلب على هذه الصعوبة ببعض الرياضة العقلية التي يعرفنا بها الاستاذ جورج جامو على خصائص الفضاء .

لنتصور أننا نجلس في غرفة شكلها شكل كرة كاملة الاستدارة لا منفذ فيها . سيكون الفضاء داخل الغرفة يحمل الخصائص التالية : إنه فضاء **ذو ثلاثة ابعاد** ، ولن نجد له حداً يبتدئ منه أو ينتهي اليه ، فقد فرضنا أن الغرفة كاملة الاستدارة ، وعلى ذلك فهو **غير محدود** . ونستطيع أن نحسب حجمه إذا ما عرفنا قطر الكرة ، وعلى ذلك فهو **متناهي** الحجم.

ولنأخذ مثلاً آخر ، لنتصور أن لدينا تفاحة ، والتفاح مثل طيب للأكل والشم وضرب الامثال . ولسوء حظنا جاءت دودتان ووقفتا على سطحها واخترقتاها في نقطتين متقاربتين . وأخذت كل واحدة منهما تشق لها طريقاً متعرجاً داخل التفاحة . وكانت الدودتان من نوعين مختلفين : إحداهما سوداء اللون والأخرى بيضاوءه . وكانتا على كراهية شديدة لبعضهما البعض ، كما لو كانت إحداهما زوجة أب الأخرى ، فأخذت كلّ واحدة منهما طريقاً مستقلاً داخل التفاحة تميل فيه وتتعرج كما شاء لها





(شكل ٢٥)
الفضاء داخل التفاحة المنخورة

الهوى . إلاّ أنهـا لا تخرق طريق الأخرى ولا تنفذ اليه . واستمرت كلّ واحدة منهما في عملها هذا حتى أتتا على التفاحة ، ولم يبق منها إلاّ غشاء رقيق جداً هو الذي يفصل بين الطريقين . ومع أن هذين الممرين متلاصقان جداً ويدوران ويتراكبان حول بعضهما البعض ، إلا أنه لا يمكن الوصول من أحدهما إلى الآخر إلاّ إذا وصلنا إلى فتحتيهما الخارجيتين على سطح التفاحة (شكل ٢٥) .

ولنفرض الآن أن التفاحة ضخمة جداً والممرات الموجودة فيها ضخمة أيضاً بحيث تتسع لمرور الانسان فيها . ولنفرض أن إنساناً دخل في الممرات التي حفرتها الدودة البيضاء . إنه يستطيع عندئذ أن يتجول في جميع أنحاء التفاحة ، يصعد ويهبط ويدور أنّى شاء . ولكنه لا يستطيع أن ينفذ إلى الممرات الأخرى التي حفرتها الدودة السوداء إلاّ إذا خرج إلى سطح التفاحة ودخل من الفتحة الأخرى . ويجب أن نعتبر أن ملتقى الفتحتين الخارجيتين على سطح التفاحة لا يختلف عن أية نقطة أخرى من الفضاء داخل الممرات . فلو كانت التفاحة مرنة فإننا نستطيع أن ندفع بنقطة التقاء الفتحتين إلى داخلها ، وعندئذ فان كثيراً من الممرات الموجودة في الناحية المقابلة سوف تبرز على السطح في الناحية الأخرى ، ولكونها مغلقة فلن تتصل بالفضاء الخارجي وإنما ستظهر بارزة على السطح فقط امام أعيننا ، وستصبح نقطة التقاء الفتحتين السابقتين داخل التفاحة .

وبالاضافة إلى ذلك ، فمن المفروض أن السائر في هذه الممرات سيجد أمامه طريقاً حيث سار ، ولن يجد حائطاً أو سداً يقطع عليه سيره ، وإذا سار مدّة طويلة من الزمن فسيجد نفسه في المحلّ الذي ابتدأ سيره منه .

وإذا حاولنا أن ننظر إلى هذا الانسان **من الخارج** ، فإننا نرى أنه يسير في الممرات حسب اتجاهاتها ، وسوف ندرك أنه سيصل إلى النقطة التي ابتدأ سيره منها ، لأننا نلمح تعرجات الممرات أمام أعيننا . ولكن

الانسان السائر داخل هذه الممرات ، وينظر اليها **من الداخل** ، فإنه لا يعرف إذا كان هناك وجود لشيء اسمه **الخارج** ، وسيظهر له الفضاء **متناهي الحجم** لكن **لا حدود له** .

وبالمثل أيها القارئ ، يمكن أن تنظر إلى فمك وأنفك وتعتبر فتحاتهما وما يتشعب منها إلى الجهاز الهضمي والجهاز التنفسي نوعاً من الممرات كتلك التي تحدثنا عنها في التفاحة . وعلى ذلك تكون فتحة الفم وفتحتا الانف هي محلّ التقاء الأقنية الفضائية داخل جسمك بالفضاء الخارجي .

* * *

وقبل أن نسير شوطاً آخر في معرفة خصائص الفضاء ، يجب أن نعرف شيئاً عن اليمين والشمال .

دعنا نتفحص زوجاً من القفازات . سنجد بالتمعن أن كلّ قفاز من الزوج يشبه القفاز الآخر في جميع قياساته وفي شكله وفي كلّ صفة من صفاته ، سوى صفة واحدة ، وهي أن أحدهما يمين والآخر شمال . وإذا ما حاولت أن تدخل يدك اليمنى في القفاز الشمال أو اليسرى في القفاز اليمين فإنك لن تفلح . إن هذا الفارق الوحيد بين اليمين الشمال



(شكل ٢٦)

اشياء يمين وأشياء شمال

يجعل التمايز بينهما واضحاً جداً ، فيبقى اليمين دائماً يميناً والشمال شمالاً . (شكل ٢٦) .

وهناك أشياء كثيرة غير القفازات لها يمين ولها شمال ، كالحذاء ومقص الخياط ، ومقود السيارة (اميركية أو انكليزية) ، وبعض القواقع الموجودة في الطبيعة .

ووجود الأشياء اليمين والأشياء الشمال أمر بديهي عند الناس . وهم يعتبرون أن الأساس الصحيح في تركيب الأشياء أن تكون على اليمين ، بدليل أنهم يصفون من لا يعجبهم عقله بقولهم : « عقله مركب شمالاً » .

على أية حال ، فإننا لا نفكر أن نطلب من البائع كأساً يميناً أو عصا شمالاً أو مسطرة لها صفة من هذا القبيل ، لأن صفات اليمين والشمال لا توجد في الكؤوس ولا العصي ولا المساطر . وتتميز هذه الأشياء بأنها منتظمة الشكل على الجانبين . فإذا رسمت خطاً وهمياً يمرّ في منتصف الكأس ، فإنه سيقسم الكأس (وهمياً طبعاً) إلى قسمين متناظرين تمام التناظر . أما إذا رسمت خطاً وهمياً في قفاز في أي وضع أردت ومهما كان الخط الذي فكرت فيه ، فإنك تحصل على قسمين مختلفين ، ولن تجد خطاً يقسمه ليعطيك قسمين متناظرين مهما بلغت من العبقرية .

وإذا أصبحت أيها القارئ ، بعد كل هذا الحديث ، تعرف يمينك من شمالك ، فنحن بخير والحمد لله .

ولنفرض الآن أن لدينا عالماً من بعدين (أي سطحاً فقط) ، فيه إنسان ظل وحمار ظل ، كما هو ظاهر في الشكل (٢٧) .

والانسان الظل يحمل في يده اليمنى عنقوداً من العنب . وقد اختار لنا الاستاذ جورج جامو العنب لأنه يظن أننا أتخمنا من التفاح . وسيكون عنباً ظلاً طبعاً . ولن يستطيع الانسان الظل أن يأكل من العنب الذي يحمله لأنه لا يستطيع أن يرفعه عن السطح ويضعه في فمه . ولو فعل



(شكل ٢٧)

الإنسان الوجه والحمار اليمين

ذلك فإنه يتجاوز حدود عالم البعدين الذي فرضناه . وهذا الانسان لن يستطيع أن يدير نفسه وسيبقى ناظراً الينا بعينيه الواسعتين ، مديراً وجهه تجاهنا دائماً . ونستطيع ان نسميه « الانسان الوجه » . بينما نجد الحمار الظل الواقف بقربه متجهاً إلى اليمين ينظر اليه . وباستطاعة الحمار ان يتحرك على السطح ويأكل العنب . ونستطيع بناء على ذلك ان نسميه « الحمار اليمين » لأنه ينظر إلى الجهة اليمنى . ويمكن ان نرسم حماراً آخر شمالاً ينظر إلى الجهة اليسرى .

ولدينا الآن سؤال : هل يمكننا أن ندير اتجاه الحمار اليمين الظل الظاهر في الصورة ، بحيث يصبح حماراً شمالاً ؟ إننا نستطيع أن نفعل ذلك إذا أدرناه على سطح الورقة نصف دورة بحيث يأتي رأسه إلى الناحية اليسرى . ولكننا نجد عندئذ ان رجليه قد أصبحتا متجهتين إلى أعلى في الفضاء الظل . وهذا غير لائق بمقام الحمار .

إذن ما هي الطريقة التي يمكن أن نجعله بها حماراً شمالاً ، مع حفظ مقامه وبقاء رجليه إلى أسفل ؟ جرّب أن تفكر في السؤال وحدك أيها القارئ وأن تجيب عليه قبل أن تتابع القراءة .

هناك طريقة سهلة بسيطة ، هي أن نقص الحمار الظل عن الورقة ،

وترفعه عن السطح إلى أعلى ، وندير وجهه إلى الناحية الأخرى ، ثم نلصقه محله .

ولكننا بهذه العملية نكون قد أدخلنا بعداً ثالثاً إلى العالم ذي البعدين الذي يعيش عليه الحمار الظل .

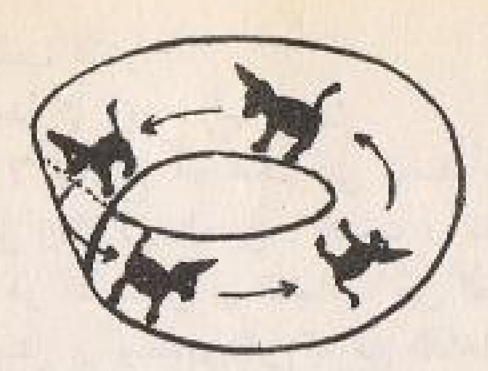
وسيبرز لنا الآن السؤال التالي : **هل يتحول الشيء اليمين إلى شيء شمال والشيء الشمال إلى شيء يمين إذا ما أضفنا بعداً إلى ابعاد العالم الذي يكون فيه ذلك الشيء وأدرناه بشكل مناسب ؟** أي إذا أخذنا قفازاً يميناً مثلاً – والقفاز ذو ثلاثة ابعاد كما نعرف – ونقلناه إلى مكان ذي اربعة ابعاد ، وأدرناه هناك بطريقة مناسبة (كما أدرنا الحمار الظل في البعد الثالث) ، هل نستطيع أن نستعيده قفازاً شمالاً ؟

سؤال وجيه أيها القارئ ، أليس كذلك ؟

لكن مالنا ولكل هذه الأمور المعقدة ؟ ولماذا نخرج الحمار الظل اليمين من عالمه ذي البعدين حتى نجعله شمالاً ؟ إن هناك طريقة أخرى يمكن أن نقوم فيها بهذا العمل دون أن نجعله يترك السطح الذي هو فيه .

وفي سبيل ذلك يجب أن نختار سطحاً خاصاً غير السطح المستوي الذي مرّ ذكره . وهناك سطح (أو عالم ذو بعدين) يسمى سطح موبيوس **Mobius** باسم العالم الرياضي الألماني الذي وصفه قبل قرن من الزمن . ويمكن أن نعمل سطحاً كهذا بأن نأتي بقطعة مستطيلة من الورق ونلصق طرفيها ببعضهما البعض على شكل حلقة . ولكن قبل أن نلصقهما نلوي أحد الاطراف مرّة واحدة فقط (شكل ٢٨) .

ولهذا السطح الجديد المتكون لدينا ، خصائص غريبة . فإذا أمسكنا بمقص وأخذنا نقص الورقة طولياً لكي نجعل من الحلقة حلقتين فسوف نفاجأ بمفاجأة غريبة لم نكن ننتظرها . ستبقى الورقة متصلة ببعضها البعض ، وسينتج لنا حلقة واحدة قطرها أكبر من قطر الأولى مرتين ، ولكن الحلقة



(شكل ٢٨)

سطح موبيوس

التي تحيط بها لها نصف عرض الحلقة الأولى

ومن خصائص هذا السطح أيضاً ، أن الحمار الظل إذا سار عليه وهو متجه إلى ناحية (الشمال مثلاً في الصورة) ، فإنه سيظهر من الناحية الأخرى متجهاً إلى الناحية المعاكسة (اليمين في الصورة) .

إذن يمكن أن نقول ، إن الشيء اليمين إذا سار على سطح ملتوٍ ودار دورة معينة حول الالتواء فإنه سيصبح شمالاً والعكس بالعكس .

وإذا كان هذا الكلام ممكناً في سطح ذي بعدين ، فلماذا لا يكون الكلام نفسه صحيحاً في فضاء ذي ثلاثة ابعاد ؟ فإذا كان الفضاء ذو الثلاثة ابعاد ملتوياً بالشكل المناسب فيجب أن يصبح اليمين شمالا والشمال يميناً إذا ما دار حول هذا الالتواء دورة كاملة .

وإذا كان ذلك كذلك ، فإن السائحين الذين سيدورون حول الكون في المستقبل سيعودون يستعملون أيديهم الشمال وستصبح قلوبهم في الناحية اليمنى من صدورهم ... وهكذا . ولن نتجنى عليهم إذا قلنا بأن عقولهم قد ركبت شمالاً . أما صانعو الأحذية والقفازات فبدلاً من أن يصنعوا بضاعتهم يميناً وشمالاً فانهم سيصنعون نوعاً واحداً فقط ، وهو أسهل لهم بلا شك ، ثم يقسمونه إلى نصفين ، ويرسلون النصف ليدور حول الكون

فيرجع ليطابق النصف الآخر .

عملية بسيطة جداً كما ترى ، أيها القارئ .

ولكننا بطبيعتنا لا نستطيع أن نحكم على الفضاء بالسهولة التي نحكم بها على الحمار الظل وعالمه ذي البعدين . والسبب في ذلك كما قلنا من قبل أكثر من مرة ، هو أننا نعيش في الفضاء . ومن الصعب على المرء أن يحكم على شيء يعيش في وسطه وينظر اليه **من الداخل** ، بينما من السهل جداً أن يحكم عليه إذا كان ينظر اليه **من الخارج** .

وبعد ،

سيسأل القارئ : وما هي الفائدة من كل هذا الحديث ؟ وما علاقة النظرية النسبية بذلك ؟

وسنجيب قائلين ، بأن القصد هو أن نسرد بعض خصائص الفضاء ، ونعرّف القارئ به ، حتى إذا ما تكلمنا عنه بلغة آينشتاين فيما يلي ، يكون القارئ على بعض الالمام بخصائص ما سنتكلم عنه .

الفضاء في النسبية

إن الفضاء كما تحدثنا عنه حتى الآن ، هو الفضاء الذي يمكن أن نفهمه بمداركنا ذات الابعاد الثلاثة على أنه مكون من ابعاد ثلاثة . وإذا كنا قد اقتنعنا بخلوه من الأثير ، كما سبق القول عندما تحدثنا عن ذلك في النسبية الخاصة ، فسوف ندرك انه فراغ خال منسجم في جميع نواحيه ، إلاّ من افلاك عديدة تسبح فيه هنا وهناك ، فتملأ الجزء الذي تحتله منه . وإذا كنا قد اطلعنا على بعض الابحاث الكلاسيكية في الفضاء فسوف نستنتج أنه لا متناه وسيكون عندئذ بالطبع لا حدود له ، وقد ندرك ذلك ببداهتنا ذات الابعاد الثلاثة دون أن نكون قد قرأنا عنه شيئاً .

ولكن النظرية النسبية لا تقرّنا على هذه المفاهيم . فهي بعد أن أفرغته من الأثير أخذت تضفي عليه صفات معينة هي في الواقع محور الحديث في النظرية النسبية العامة . وسوف نتحدث هنا عن هذه الصفات ،تاركين الحديث عن حدوده ونهايته وأطرافه للفصل الأخير الذي نتحدث فيه عن الكون .

والفضاء في النسبية مكوّن من أربعة ابعاد يعرفها القارئ الآن تمام المعرفة ، هي الابعاد الاربعة التي تسير عليها فيزياء الكون كلّه بحسب

المفاهيم النسبية . ومن الخطأ كل الخطأ أن نعتبر الفضاء « لا شيئاً » ما بين الكواكب والنجوم . فلو كان « لا شيئاً » لما استطعنا أن نتكلم عن خصائصه وصفاته ما سوف نتكلم .

والنظرية النسبية العامة ترى في الفضاء رأياً قد يبدو لنا في منتهى الغرابة . فهي تقول بأن الفضاء غير منسجم ولا متشابه ولا متناسق كما يقول نيوتن أو كما يتوهم البعض ، إنما هو **يتحدب حول الكتل السابحة فيه** . ولو كان في الامكان أن يوجد إنسان ذو عين بصيرة جداً ترى الفضاء ، إذن لأبصر أنه مليء بحبّات عديدة جداً من الفضاء المتكاثف (إن صحّ هذا التعبير) ، وفي وسط كل حبّة من حبات الفضاء نجم أو كوكب . وأستميح القارئ عذراً لاستعمال كلمة التكاثف في هذا الموضع . فمن المعروف أن الكثافة هي صفة من صفات المادة ، فأرجو أن لا يفهم من هذه الكلمة أن الفضاء مكوّن من مادة . على أية حال ، فإن أردنا تشبيهاً آخر ، فلنفرض أن الكون أمامنا كوعاء كبير جداً من الزجاج الشفاف مليء بالهلام (الجلى Jelly) . وقد فرضنا الوعاء من الزجاج الشفاف كي نستطيع أن نقف خارجه وننظر اليه من الخارج . فإذا ما نظرنا إلى الهلام في هذه الحالة ، فإننا لن نجده متشابهاً منسجماً في جميع انحائه كطبق الهلام الذي يقدم لنا في المقاهي الراقية أو في بيوت الناس الذين يفضلون الهلام على الكثافة . وإنما سنجده مليئاً بحُبَيْبات الهلام المتكاثف هنا وهناك ، وفي وسط كل حُبيبة جسم صغير جداً (هو نجم أو كوكب في حالة الفضاء) . وكأن الطباخ الذي طبخ الهلام لم يحسن اذابته في الماء قبل وضعه على النار .

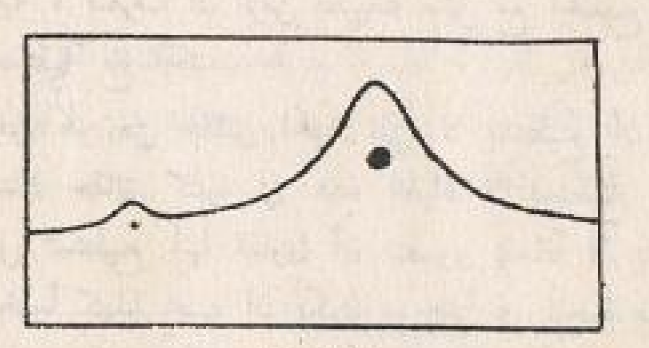
وبالاضافة إلى ذلك ، إذا أردنا أن نبحث تركيب هذه الحبيبات الهلامية فسوف نجد أنها أشد ما تكون كثافة في المركز (النجم أو الكوكب) ، وتخف كثافتها بالتدريج شيئاً فشيئاً كلما ابتعدنا عن المركز بحيث لن نجد حداً فاصلاً بينها وبين بقية الهلام الذي يملأ الوعاء ، ولن

نستطيع أن نقول عن نقطة معينة أنها تشكل الحدّ الفاصل بين الحبة المذكورة وبين الهلام .

وزيادة على ذلك ، فسوف نجد أن هذه الحبيبات أكبر حجماً وأكثر كثافة كلما زادت كتلة الجسم الموجودة في داخلها . أي أن النظرية النسبية العامة تقول بأن الفضاء يزداد تحدبه حول الكتل الكبيرة . فهو يتحدب حول الشمس أكثر من تحدبه حول الأرض ، ويتحدب حول الارض أكثر من تحدبه حول القمر ، وهكذا .

هذه هي الصورة التي يمكن أن نحملها عن الفضاء لو كان الفضاء مكوناً من مادة كالهلام الذي ضربناه مثلاً ، أي لو كان ذا ثلاثة ابعاد كالهلام .

وإذا ما شئنا أن نمثل الفضاء ببعدين فقط ، فسوف نجد أنه سطح مكون من جبال تختلف في حجومها ، ولكنها كلها ملساء تنحدر سفوحها انحداراً تدريجياً حتى تلتقي بالسهل المحيط بها بحيث لا نجد حداً فاصلا بين الجبل والسهل (شكل ٢٩) .



(شكل ٢٩)
تحدب سطح ذي بعدين

ولكن الفضاء في النسبية ليس من بعدين ولا من ثلاثة ابعاد ، وإنما هو من اربعة ابعاد .

وما دام الفضاء متحدباً ، كان علينا أن نفهم أنه متحدب بأبعاده الأربعة ، وأن تحدب هذه الابعاد يزداد حول الكتل الكبيرة . وقد يدرك القارئ تحدب الابعاد المكانية إذا سبح في خياله حيناً من الزمن . ولكن البعد الرابع الذي هو الزمن ، سيكون بطبيعة الحال متحدباً أيضاً . وعند أمثال هذا القول ما أظن القارئ بقادر على تصوره مهما اشتط به الخيال ومهما طالت الفترة الزمانية المتحدبة التي سيصرفها في خياله هذا .

إننا نعرف أن الشعراء أصحاب الخيال قد فعلوا في الزمن العجائب ، فأطالوه وقصروه وأوقفوه مكانه ، ومنهم من أرجعه القهقرى ، ومنهم من كساه شيباً ومنهم من جعله يميل . ولكن أحداً منهم لم يحدّبه . والاصطلاح الاخير هو اصطلاح شعبي معروف ، فإذا ساءت حالة انسان قالوا : « مال عليه الزمن » ، ولكنهم لا يصفون كيف يميل الزمن . وقد يتصور المرء أنه يميل تارة إلى اليمين وتارة إلى الشمال كالمترنح السكران . ولو وصفوا كيفية الميل بأنه منحن متحدب لقلنا بأنهم سبقوا آينشتاين بمفهومهم عن الزمن . على أية حال ، فيجب أن نستفيد من نظرية آينشتاين في الناحية الاجتماعية ، فنعرف أن الزمن بطبيعته مائل مع الجميع والحمد لله ، وأنه لا يسير مستقيماً مع أحد .

وتحدب الزمن هو من حقائق الحياة التي لا يستطيع أن يتصورها الإنسان ، وهناك حقائق كثيرة في هذه الحياة لا يستطيع الانسان ان يتصورها . فهل تستطيع أيها القارئ أن تتصور إنساناً لا يتدخل فيما لا يعنيه . إن شخصاً كهذا يجب أن يكون موجوداً في ناحية من نواحي الكون . أما كيف يكون شكله ؟ لا أعلم . وهل تستطيع أن تتصور إنساناً يحدثك بأن عقله غير راجح وتفكيره غير صائب وهو على قدر ضئيل من الذكاء ؟ وهل تستطيع أن تتصور شخصاً علم أنك واقع في مشكلة من المشاكل ، وكان بينك وبينه معرفة قد تكون سطحية جداً ، فلا يبادر بالمجيء اليك والسؤال عن المشكلة للإطلاع على تفاصيلها ثم ابداء

رأيه السديد فيها وتوجيهك في كيف تتصرف والتلميح لك بأن العقل الناضج هو في اتباع نصائحه القيمة وحكمه البليغة ؟ هل تستطيع أن تتصور هؤلاء الاشخاص . يجب أن يكون واحد منهم على الأقل موجوداً في بقعة من بقاع العالم وفي زاوية مغمورة من زوايا الكون . لكن ليس باستطاعتي ولا باستطاعتك ولا باستطاعة أي إنسان أن يتصور لهؤلاء البشر وجوداً !

على أية حال ، أظن أن القارئ في هذه المرحلة من قراءة هذا الكتاب وبعد أن قرأ غرائب النسبية الخاصة ، أصبح الآن على استعداد لقبول فكرة تحدّب الزمن ، لا لأنه استطاع أن يتصوره ، فآينشتاين نفسه لم يستطع ذلك ، إنما سيشعر بغضاضة أن يقول إنه لا يقبل فكرة تحدب الزمن بعد أن أصبح من آينشتاين قاب قوسين أو أدنى .

وبعد ذلك كلّه ، فقد سلمنا للنظرية النسبية بمفاهيم غريبة جداً فيما مرّ من حديث في شؤونها ، أو نستكثر أن نسلّم لها الآن بتحدّب الزمن ؟ إنها أصبحت علينا غالية ، وأصبح طلبها هذا طلباً رخيصاً !

مهما يكن من أمر ، فإن فكرة تحدب الفضاء تحلّ مشاكل علمية لم تستطع القوانين الكلاسيكية أن تحلّها . وهناك من الاثباتات على صحتها ما لا يدع مجالاً لتكذيبها .

هندسة جديدة للكون

إذا اقتنعنا برأي النظرية النسبية العامة في الفضاء — واثباتاتها كفيلة باقناعنا — وإذا كان الفضاء محدباً حقاً ، فسوف نجد أن الهندسة الاقليدية التي درسناها في المدارس لم تعد تصلح لتفسير ظواهر الكون . فهذه الهندسة — كما قلنا في أوائل هذا الكتاب — تسمى بالهندسة المستوية

لأنها تدرس السطوح المستوية . وأساس الاشكال فيها يعتمد على شيئين هما الخط المستقيم والدائرة . ومنهما تنشأ الأشكال الأخرى . أما هندسة الحجوم ذات الابعاد الثلاثة المعروفة في الفيزياء الكلاسيكية فهي فرع من هندسة اقليدس وتطبيق لها .

والآن ، وقد رأينا أن الفضاء متحدب منحنٍ فلا تعود الهندسة الاقليدية ذات نفع لنا ، ونصبح بحاجة إلى هندسة أخرى .

من البديهيات في الهندسة الاقليدية المستوية أن الخط المستقيم هو أقصر مسافة ما بين نقطتين . وقد يكون هذا الكلام صحيحاً إذا حصرنا بحثنا في حدود صفحة مستوية من الورق . ولكنا إذا أردنا أن نتوسع عن ذلك فلن نجد تطبيقاً لهذا التعريف . فنحن في حياتنا العادية إذا ما أردنا أن نتكلم عن المسافة ما بين الكويت والدار البيضاء فإننا نذكر عدد الكيلومترات أو الأميال التي تفصل بينهما عندما نقطع هذه المسافة سواء بالطائرة أو بالسيارة ونحن سائرون على سطح الارض المنحني أو في خط موازٍ له . ولن يدور في خلدنا أن نمدّ خطاً مستقيماً ما بين الكويت والدار البيضاء بحيث يخترق هذا الخط سطح الارض ليصل بينهما . لأن طبيعة سطح الأرض الذي نعيش عليه متحدبة . وعلى ذلك يمكن أن نقول بأن أقصر مسافة ما بين الكويت والدار البيضاء هي الخط المنحني الموازي لانحناء سطح الارض الذي يصل بينهما . ولن نستطيع أن نقول بأن الخط المستقيم هو أقصر مسافة بينهما لأنه لا وجود له في الواقع .

إن مفهوم الخط المستقيم على سطح الكرة الأرضية هو الخط الموازي لسطحها المنحني . ألسنا نحدد الاستقامة في أعمالنا الهندسية بميزان الماء ؟ ولو أخذنا نمد خطاً مستقيماً وميزان الماء معيارنا لوجدنا بعد مدة معينة اننا درنا حول الكرة الأرضية وجئنا إلى الخط المستقيم من حيث بدأنا منه . ونكون قد أنشأنا دائرة كاملة ونحن لا نزال نحسب أننا نرسم خطاً مستقيماً . حتى الخط المستقيم الذي نرسمه على الورق فهو غير مستقيم حقاً ، لأنه

جزء من الدائرة التي تحيط بالكرة الأرضية .

وعلى ذلك ، فإذا شئنا أن نعرف أقصر مسافة بيننا وبين أحد النجوم، كالنجم القطبي مثلاً ، فيجب أن نعرف قبل كل شيء أنها ليس من الضروري أن تكون خطاً مستقيماً . ولما كان الضوء بالبداهة يقطع أقصر المسافات ما بين نقطتين ، فيمكن أن نقول أن أقصر مسافة بيننا وبين النجم القطبي هي تلك الطريق التي يسلكها الضوء الصادر عن ذلك النجم حتى يصل الينا . ولكننا سوف نرى فيما يلي من حديث أن الضوء نفسه يسير في خطوط منحنية حسب تحدبات الفضاء! فإذا كانت هناك تحدبات فضائية ما بيننا وبين النجم القطبي تعرّج طريق الضوء ، فلن تعود أقصر مسافة بيننا وبينه هي الخط المستقيم .

هذا هو شأن الخط المستقيم . أما المثلث فله شأن آخر .

إن سطح الكرة الارضية هو مثل جيد على السطوح المحدبة . دعنا نرسم عليها مثلثاً قاعدته خط الاستواء . ولننتخب بلدين على هذا الخط أحدهما في افريقيا والآخر في اميركا الجنوبية . ولنقم عموداً من كل منهما



(شكل ٣٠)

مثلث قاعدته خط الاستواء

إلى الجهة الشمالية ، وسيتقابل العمودان في القطب الشمالي . ويصبح لدينا مثلث قاعدته خط الاستواء ورأسه في القطب الشمالي ، وعدد زواياه أكثر من قائمتين ، لأن زاويتي القاعدة وحدهما قائمتان . (شكل ٣٠) .

ولو جربنا إنشاء مثلثات عديدة على سطوح مختلفة لوجدنا دائماً أن مجموع زوايا المثلث المرسوم على سطح محدّب يكون دائماً أكثر من قائمتين ، ومجموع زوايا المثلث المرسوم على سطح مقعر يكون دائماً أقل من قائمتين .

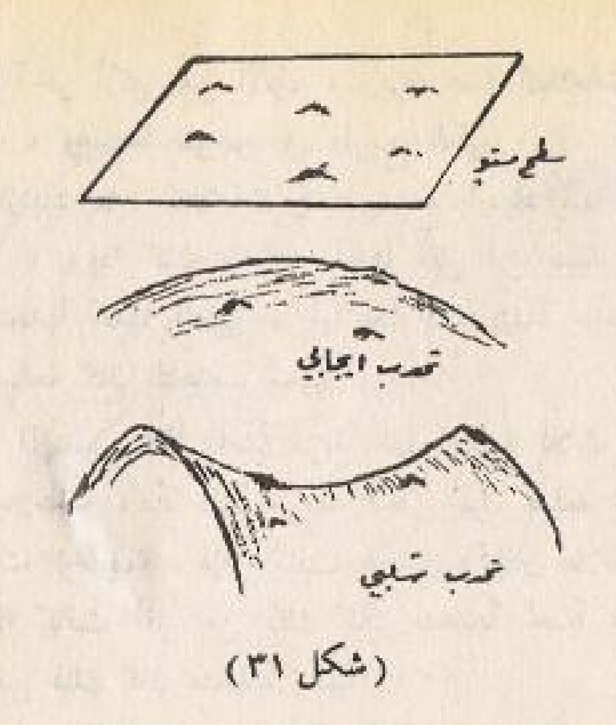
ولو تصورنا مهندساً ظلاً يعيش على سطح من السطوح ويريد أن يعرف شكل السطح الذي يعيش عليه ، فإنه يستطيع أن يعرف ذلك بسهولة إذا رسم مثلثاً وقاس درجاته بمنقلة ظلّ . وإذا وجد زوايا المثلث قائمتين كان معنى ذلك أن السطح مستوٍ ، وإذا كان أكثر من ذلك كان محدباً أو أقل من ذلك كان مقعراً .

فأين نحن إذن من هندسة اقليدس التي تحتم أن تكون زوايا المثلث قائمتين ؟ إنها لا تعود صالحة لنا في مجالات بحثنا الآن .

وما دمنا نتكلم عن السطوح المحدّبة والاجسام المحدّبة ، فيجب أن نعرف أن هناك نوعين من التحدّب : أحدهما يسمى التحدب الايجابي والآخر التحدب السلبي . وهذه مشكلة سوف تعترضنا عندما سنبحث حجم الكون فيما إذا كان تحدبه ايجابياً أم سلبياً .

والسطح المتحدب تحدباً ايجابياً هو ذلك الذي أخذ من شكل هندسي ينغلق على نفسه ، كالكرة مثلاً . أما ذلك الذي ينحدب تحدباً سلبياً فهو الذي أخذ من سطح لا ينغلق على نفسه ، ويمكن أن نضرب عليه مثلا بسرج الحصان . (شكل ٣١) .

إنك إذا ما أخذت قطعة من جلد كرة القدم وحاولت أن تضعها على مائدة مستوية وأن تبسطها عليها ، فإنك تحتاج إلى أن تضغط على أطرافها وتمدّها حتى يتم انتشار قطعة الجلد على السطح المستوي . إن الأطراف



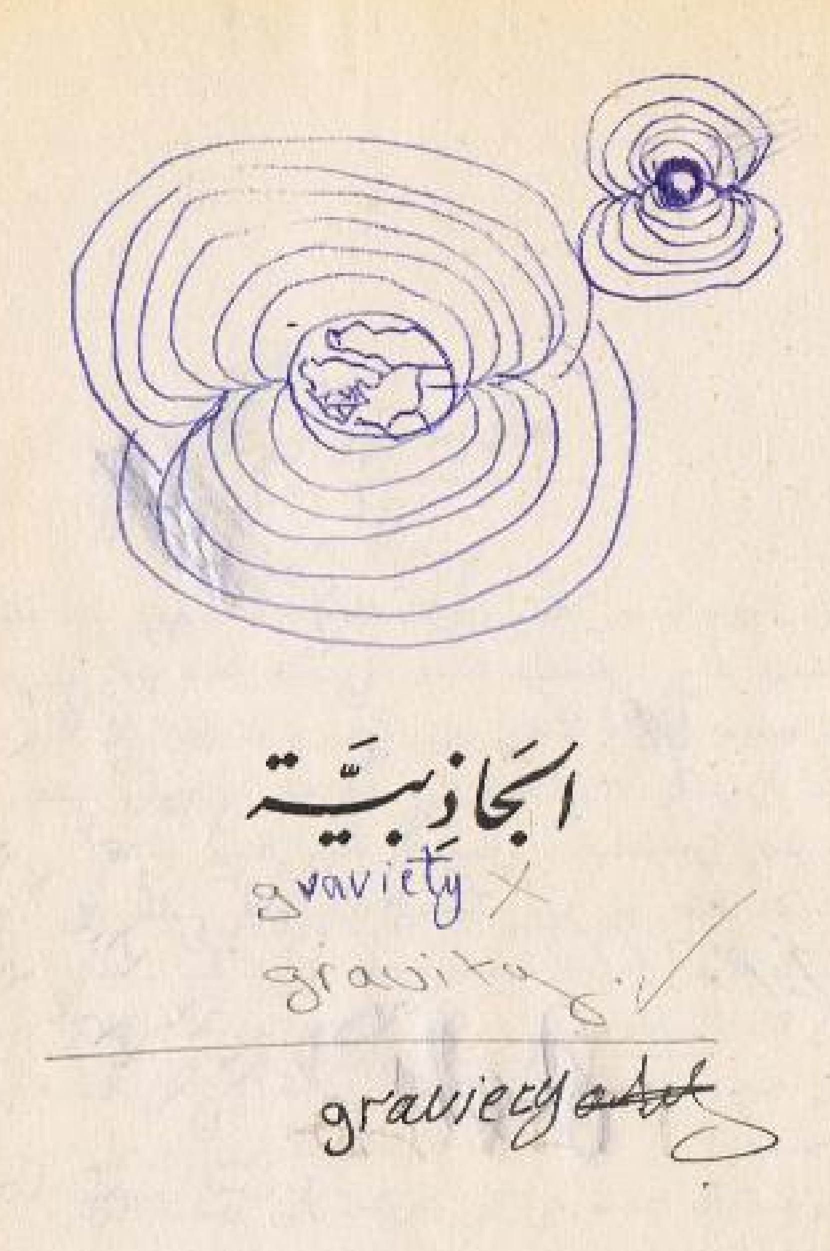
(شكل ٣١)

تكون منكمشة أكثر من الوسط وشكل كهذا إذا امتدت اطرافه بحسب اتجاهها فإنها تلتقي وتكوّن شكلاً هندسياً مغلقاً على نفسه ، هو الكرة التي أخذنا منها هذه القطعة .

لكننا نلاحظ عكس هذه الظاهرة إذا ما أخذنا قطعة جلد من سرج حصان وحاولنا أن نبسطها على مائدة مستوية ، كما فعلنا فيما سبق . إننا نلاحظ في هذه الحالة ، ان هناك زيادة في الاطراف . وإذا حاولنا تسويتها مع سطح المائدة المستوي ، علينا أن نكمش الأطراف بشكل من الاشكال أو أن نمدد الوسط ونسحبه . وشكل كهذا إذا امتدت اطرافه حسب اتجاهها فإنها لن تلتقي وستمتد إلى ما لا نهاية .

وإذا تصورنا أن هناك مهندساً ظلاً يعيش على سطح من هذه السطوح فإنه يستطيع أن يعرف فيما إذا كان تحدب السطح ايجابياً أم سلبياً أم أنه مستوٍ .

إنه يضع علامات على السطح على مسافات متساوية ، ويرسم مربعاً



GRAVITY

ثم يرسم مربعاً آخر أكبر من الأول ، ويرى عدد العلامات الموجودة في المربع الصغير ، وعددها الموجود في المربع الكبير .

فإذا كان ازدياد عدد العلامات يتناسب مع ازدياد مساحة المربع كان السطح مستوياً ، وإذا كان ازدياد عددها أقل من نسبة ازدياد مساحة المربع كان متحدباً تحدباً ايجابياً ، أما إذا كان يزداد عددها بأكثر من نسبة ازدياد المساحة كان التحدب سلبياً .

لنفرض أن المهندس الظل انشأ مربعاً طول ضلعه ثلاث ياردات فوجد أن فيه تسع علامات ، ثم انشأ مربعاً آخر طول ضلعه تسع ياردات . انه يعد العلامات الجديدة ، فإذا كانت احدى وثمانين علامة كان السطح مستوياً ، وإذا كانت أقل من ذلك كان متحدباً تحدباً ايجابياً ، وإذا كانت أكثر من ذلك كان متحدباً سلبياً .

بهذه الطريقة يستطيع المهندس الظل أن يعرف نوع تحدب السطح الذي يعيش عليه ، دون أن يحكم عليه من الخارج .

والشيء نفسه يقال عن الحجوم ، فاننا نعرف أنها متحدبة ايجابياً أم سلبياً بحسب ازدياد العلامات مع مكعب المسافة المعينة .

رقم الإيداع : ٩٣/١٦٠٦

المطبعة العربية الحديثة

جاذبية نيوتن

يقول الخبراء بقصص العلم وطرائف العلماء ، أن نيوتن كان مضطجعاً تحت شجرة تفاح ، فسقطت تفاحة على رأسه جعلته يفكر في سبب سقوطها وسقوط الأشياء الأخرى على الأرض . ولا أظن إلاّ أن كلّ فرد منا يودّ أن يشكر تلك التفاحة التي اختارت رأس نيوتن لتسقط عليه فتجعله يفكر في الجاذبية ، ويضع لنا قانونها الشهير باسمه .

فقد كان الناس قبل نيوتن يشاهدون الأشياء وهي تسقط على الأرض ، ويظنون أن الأرض بطريقة ما تجذب هذه الاشياء اليها . ولكن نيوتن هو أول من قال بأن الجذب متبادل بين الأرض وبين ما عليها من أجسام فالارض جذبت التفاحة التي سقطت على رأسه ، ولكن التفاحة في الوقت نفسه جذبت الأرض اليها ، وبما أن جسم الأرض أكبر من جسم التفاحة لذلك وجدنا أن التفاحة هي التي تحركت حتى وصلت الأرض .

وظاهرة الجذب هذه ليست موجودة بين الارض وما عليها من أجسام وحسب ، بل هي موجودة بين الاجرام السماوية ، وبين أي كتلة وأخرى في هذا الكون . فالأرض والكواكب تجذب بعضها البعض وتجذب الشمس اليها ، والشمس بدورها تجذب الأرض والكواكب وهكذا .

وكان نيوتن والعلماء الآخرون حتى مطلع القرن العشرين ، يعتقدون أن

الفضاء منسجم متناسق – أو بحسب تعبير نيوتن – متشابه في جميع جهاته، مملوء بالأثير الذي تسبح فيه الكواكب. وقد وجد نيوتن أن أحسن تفسير لهذه الظاهرة هي افتراض وجود قوة في الكتل المادية تشدها إلى بعضها البعض. وسمّى هذه القوة بالجاذبية. وقال إن من طبيعة أي جسم في هذا الكون أن يجذب اليه أي جسم آخر. ووضع قانونه الشهير القائل بأن قوة الجاذبية بين أي جسمين تتناسب تناسباً طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وتناسباً عكسياً مع مربع المسافة بينهما. فقوة الجذب بين الارض والشمس مثلاً تساوي:

$$\frac{\text{كتلة الأرض} \times \text{كتلة الشمس}}{(\text{المسافة بين الأرض والشمس})^2}$$

إن نيوتن بعقله الجبار وتفكيره العلمي قد وضع قانونه هذا لتفسير ظاهرة موجودة من ظواهر الطبيعة. وقد افترض وجود قوة الجذب في الأجسام واعتبرها خاصة أساسية من خصائص المادة. ووجدنا في الواقع أن قوّة الجذب أو قوة الشدّ الذي تبذله الشمس على الكواكب هي التي تفسر لنا مسار هذه الكواكب في مداراتها. إذن فقد اخترع نيوتن هذه القوة لكي يفسر هذه الظاهرة. وقد فسرتها في الحقيقة تفسيراً مقنعاً. لكننا لا نجد أيّ دليل يثبت لنا أن الجاذبية هي قوة كامنة فعلاً في الكتل المادية، إلاّ الظاهرة التي اخترعت هذه القوة لتفسيرها.

وقد يصعب على المرء، إذا فكر تفكيراً مجرداً، أن يدرك وجود قوة في الشمس تشد الكواكب اليها أو وجود قوة في الارض تشد بها الأجسام الكائنة على سطحها. ولكنه يسلّم مكرهاً بوجودها لتفسير الظاهرة الغريبة التي يراها أمام عينيه.

ونيوتن عندما وضع قانونه هذا، كان يفهم الكون كما فهمته الفيزياء الكلاسيكية، في القرنين ونصف القرن التي تلت زمانه، وكما علم الفيزيائيين

الكلاسيكيين أن يفهموا الكون بقوانينه التي وضعها في هذا الخصوص.

كان يعرف بالبداهة عندما سقطت التفاحة على رأسه ان التفاحة قد تركت مكانها الذي كانت معلقة فيه وهوت أو تحركت إلى الارض، بينما نحن نعرف الآن بعد أن درسنا النظرية النسبية الخاصة أن لا فرق لدينا بالنسبة للكون كله، إذا قلنا بأن التفاحة هي التي تحركت إلى الأرض أو ان الأرض هي التي تحركت إلى التفاحة.

كان يعرف أن الكون مكون من ثلاثة ابعاد، وأن الفضاء متشابه في جميع انحائه تسبح فيه الافلاك، وأن من المفروض في الاجسام أن تمشي في خطوط مستقيمة في الفضاء، وقانونه حول القصور الذاتي له علاقة بهذا الشأن. وقد استغرب عندما رأى الكواكب تدور حول الشمس في مدارات شبه دائرية، فرأى من البديهي أن تكون هناك قوة شدّ في الشمس تشد الكواكب اليها بها، سماها قوة الجاذبية، ووضع لها قانوناً كان، وما يزال، ناجحاً إلى حدّ بعيد.

وظل هذا القانون، مدّة قرنين ونصف قرن من الزمن، من قوانين الفيزياء الثابتة الراسخة الموطدة الأركان التي لا يتطرق اليها الشك بحال من الأحوال. كان يحلّ كل المشاكل التي تعترض الفيزياء الكلاسيكية حلولاً صائبة مرضية مقنعة، والعلماء عليها راضون وبها قانعون.

لولا ذلك الكوكب اللعين ... عطارد.

حكاية عطارد

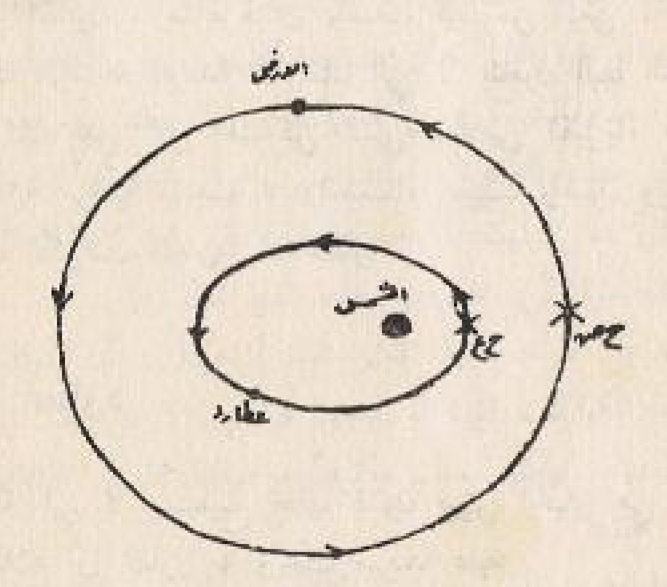
إن المسألة التي لا يستطيع حلها قانون نيوتن الجبار هي حكاية تثير حب الاستطلاع في القارئ، ويجب سردها عليه.

ولكننا قبل ذلك يجب أن نعرف شيئاً عن الكواكب الأخرى ومركز عطارد بالنسبة لها وموقعه في النظام الشمسي. فالشمس وهي الأم تقع في

المركز ويدور حولها أبناؤها التسعة . وهم بحسب قربهم من الشمس : عطارد والزهرة والأرض والمريخ والمشترى وزحل واورانوس ونبتون وبلوتو . وإذا سمحنا لأنفسنا أن نتخذ قرب الابن من امه دليلاً على مقدار الدلال الذي يحظى به ذلك الابن ، فسيكون عطارد هو أكثر الكواكب دلالاً لأنه أقربها إلى الشمس .

وهذه الكواكب كلها تدور حول الشمس بانتظام . والدورة الكاملة للكوكب يتمها في مدة معينة هي سنة ذلك الكوكب . فالارض مثلاً ، وهي الكوكب الثالث ، تدور حول الشمس في ٣٦٥,٢٥ يوماً من أيامنا . وتسمى هذه الفترة : السنة الارضية . ولكل كوكب سنته الخاصة به .

والطريق الذي يسلكه الكوكب في دورته حول الشمس يسمى مداراً . ولكل كوكب مداره الخاص بـه . وقد يتصور القارئ ان الكوكب في مداره يرسم دائرة هندسية تكون الشمس مركزها . وهذا غير صحيـح . فالواقع أن المدارات الكوكبية في نظامنا الشمسي كلها بيضوية الشكل – أي



(شكل ٣٢)

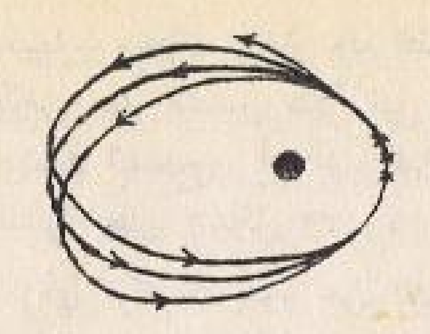
مدارات بيضوية وليست دائرية

دائرة مفلطحة من جانبيها – ويختلف مقدار هذا التفلطح بحسب مدار كل كوكب . فمدار الأرض حول الشمس مثلاً قليل التفلطح ويكاد يكون دائرة ، ومدار بلوتو شديد التفلطح . أما أشد المدارات الكوكبية تفلطحاً فهو مدار الكوكب المدلل عطارد (شكل ٣٢) .

وما دام الكوكب (أيّ كوكب) يدور حول الشمس في مدار بيضويّ الشكل ، فإن بعده عن الشمس يختلف ما بين لحظة وأخرى ، حسب موقعه من المدار البيضويّ . ففي نقطة من النقاط يكون ابعد ما يكون عن الشمس (أقصى الطرف الايسر في الشكل ٣٢) وفي نقطة أخرى يكون أقرب ما يكون إلى الشمس (أقصى الطرف الأيمن في الشكل نفسه) . وعلى ذلك ، فإذا دار الكوكب دورة كاملة حول الشمس فإنه يمرّ في نقطتين : نقطة يكون فيها بعيداً جداً عن الشمس ، ونقطة يكون فيهـا قريباً جداً منها . والنقطتان متقابلتان في المدار ، وتبعد احداهما عـن الأخرى نصف دورة .

والنقطة التي يكون فيها الكوكب أقرب ما يكون إلى الشمس تسمى الحضيض الشمسي لذلك الكوكب . والنقطة ح ض في شكل (٣٢) هـي حضيض الأرض الشمسي ، والنقطة ح ع هي حضيض عطارد الشمسي . وبناء على ذلك فكل كوكب إذا دار حول الشمس دورة كاملة يمرّ في حضيضه الشمسي مرة واحدة .

وقد يظن القارئ أن الحضيض الشمسي لكل كوكب هو نقطة معينـة في اتجاه ثابت بالنسبة للشمس ، يدور الكوكب دورته ثم يرجع اليها . والواقع غير هذا . فالكوكب إذا ما دار دورة كاملة لا يعود إلى النقطة نفسها من الحضيض الشمسي ، بل نجد أن الحضيض الشمسي قد أصبح نقطة أخرى مجاورة لها . أي أن الحضيض يدور نفسه حول الشمس دورة بطيئة جداً . الشكل (٣٣) .



(شكل ٣٣)

دورة الحضيض الشمسي

ومن الظلم أن نكتفي باستعمال صفة « بطيئة جداً » عندما نصف دورة الحضيض الشمسي للكواكب حول أمها الشمس . فهذه الدورة في الواقع تتحدى النمل في بطئها . وإذا أخذنا الأرض مثلاً على ذلك ونظرنا إلى حضيضها الشمسي فسنجد أنه يدور حول الشمس دورة واحدة في مدة أربع وثلاثين مليون سنة !

ونظراً لهذا البطء الشديد فقد لجأ العلماء إلى حسابات دقيقة جداً ولكنها في الوقت ذاته سهلة جداً أيضاً ، لتحديد مقدار دوران الحضيض الشمسي فنحن نعرف مثلاً من حسابات الزوايا أن الزاوية القائمة تسعون درجة ، وأن محيط الدائرة يقسم إلى ثلاثمئة وستين درجة على اعتبار أنه يحيط بأربع زوايا قوائم مرسومة على مركز الدائرة . إذن فقد أصبحنا نقدر مقدار الدرجة الواحدة من دراستنا لهذه الأشكال . وكل درجة من هذه الدرجات قسّمها العلماء إلى ستين « ثانية » ، وكل « ثانية » قسموها بدورها إلى ستين ثالثة . وعلى ذلك ففي كل درجة ٣٦٠٠ ثالثة .

والحضيض الشمسي للارض يدور حول الشمس ٣،٨ ثالثة كل قرن (مئة عام) .

وإذا أصبحنا نعرف أن « الثالثة » هي جزء من ثلاثة آلاف وستمائة جزء من الدرجة الواحدة ، نستطيع أن نقدر مدى بطء دورة الحضيض

الشمسي ، ويصبح فهمنا لما يتكلم عنه العلماء يسيراً .

ودوران الحضيض الشمسي لكل كوكب يتأثر بوجود الكواكب المجاورة له . وقانون جاذبية نيوتن كافٍ جداً لحساب مقدار تأثير الكواكب في مدارات بعضها البعض ، وتفسير مقدار دورة الحضيض الشمسي في كلّ منها .

وعندما كان العلماء الفلكيون يعرفون من الكواكب السيارة حتى اورانوس فقط ، حسبوا دورة حضيضه الشمسي حول الشمس بناء على قانون نيوتن في الجاذبية ، فوجدوا أن هذه الدورة يجب أن تكون متأثرة بكوكب آخر ، تنبأوا بوجوده بناءً على هذه الحسابات فقط . وأخذوا يفتشون أرجاء السماوات فوجدوا نبتون . إذن فقد عرفوا نبتون قبل أن يروه في التلسكوبات بناء على الحسابات التي أوصلهم اليها قانون نيوتن في الجاذبية — ذلك القانون الجبار !

والشيء نفسه حدث عندما حسبوا دورة حضيض نبتون ؛ فقد وجدوا أن دورته يجب أن تكون متأثرة بكوكب تاسع . وانطلقت عدسات التلسكوبات تفتش في الفضاء الشاسع ، حتى عثروا على الكوكب المطلوب ووجدوا بلوتو .

كلّ هذا حصل بناءً على حسابات القانون الرائع المبدع ، قانون جاذبية نيوتن . فقد كان دائماً يعطي نتائج رائعة جداً ، مدهشة جداً . إلاّ في حالة واحدة ، هي حالة الكوكب المدلل عطارد .

كان مدار عطارد واختلاف حضيضه الشمسي لغزاً من الألغاز وعقدة من العقد التي لم يستطع العلماء أن يجدوا لها حلاً . فمن المعروف عن هذا الكوكب أنه أقرب الكواكب إلى الشمس كما قلنا ، وهو أسرعهما ومداره أشد المدارات تفلطحاً ، وحضيضه الشمسي يدور حول الشمس ٥٧٤ ثالثة كل قرن . وباستطاعة قانون نيوتن بجبروته أن يفسر لنا ٥٣١ ثالثة فقط ، وهذه يدورها حضيضه الشمسي بتأثير الكواكب الأخرى .

أما الثلاث والاربعون ثالثة (٤٣ ثالثة) الباقية فليس لهـا تفسير بحال من الأحوال .

وقال بعض العلماء أن هناك كوكباً آخر بين عطارد وبين الشمس ، يجب أن يكون موجوداً لكي يفسر لنا هذه الثوالث الثلاث والاربعين . واندفعت عدسات التلسكوبات تبحث وتفتش وتتفحص ، ولكن التعب ذهب هباء والجهد كان عبثاً .

وظلت هذه المعضلة لغزاً من الغاز الحسابات الفلكية ، يقف قانون نيوتن أمامها حـائراً ، وعلائم العجز والتعب على محياه ، وتغضنات الشيخوخة أخـذت تخط آثارها على جبينه العالي وحول أنفه الأشم .

وجاءت النظرية النسبية العامة .

الجاذبية عند أينشتين

الفرق بين جاذبية نيوتن وجاذبية أينشتين :

هنالك فرق هام بين نظرة نيوتن إلى الجاذبية وبين نظرة أينشتين اليها .

إن خلاصة نظرية أينشتين في الجاذبية تستطيع أن ندركها من مفهومنا عن الفضاء المتحدب . ولا أدري إذا كان علماء الفيزياء سوف يبيحون لي أن أقول بأن تحدب الفضاء على اشكال كروية يخلق حول النجوم شبه اخاديد تسير فيها الكواكب حولها . فتحدب الفضاء حول الشمس مثـلاً يخلق حولها اخاديد رباعية الابعاد تجعل الارض والكواكب الأخرى تسير فيها في مدارات شبه دائرية ، لا لأن الشمس تشد هذه الكواكب اليها كما يقول نيوتن ، ولا لأن هناك قوة اسمها الجاذبية ، فقوة كهذه لا وجود لها ، ولكن لمجرد أن الفضاء متحدب وفيه هذه الاخاديد الفضائية . فالكواكب إذن تسير بحسب أبسط ممر تجده أمامها ، وهي في الواقع لا تستطيع أن تسير إلا في هذا الممر وفي الاتجاه الذي تحدده طبيعة الفضاء المتحدب الرباعي الابعاد .

إن الجاذبية عند نيوتن قوة ، ولكنها عند أينشتين مجال .

إن طبيعة الفضاء المتحدب حول الكتل تحدباً يخف تدريجياً كلما ابتعدنا

عن الكتلة الواقعة في مركز التحدب ، يجعل من الجاذبية مجالاً أشبه بالمجال المغناطيسي الذي قد يذكره القارىء من دراساته عن المغناطيس في الفيزياء .

ونيوتن عندما يضع قانونه ، يقيس مقدار القوة ما بين كتلتين ثابتتين ، أما أينشتين فإنه يقيس المسار الهندسي لجسم معين في فضاء ذي هندسة معينة .

وخلاصة القول ، ايها القارىء الحائر ، إن الجاذبية التي درستها في المدرسة ، وصرفت عليها وقتاً طويلاً ، وأفهمك الاساتذة أنها حقيقة لا مراء فيها ، وأنها قوة تقاس بمقاييس دقيقة جداً حسب قوانين نيوتن ، هذه الجاذبية ، بهذا الشكل ، لا وجود لها .

وهذا ما تقوله النظرية النسبية العامة .

وبالاضافة إلى ذلك فهناك فرق رئيسي في الاساس الذي تقوم عليه النظريتان ، يجب أن لا نغفله أبداً .

فقد وضع نيوتن قانونه في الجاذبية لتفسير ظاهرة معينة من ظواهر الكون . وقانونه محصور في هذه الظاهرة فقط . أما أينشتين فقد وضع نظرية عامة شاملة لتفسير هندسة الكون كله ، ويبرز من خلالها قانون الجاذبية كأحد الاجزاء التي تكمل النظرية وتبلورها . فهو لم يضع قانونه لتفسير ظاهرة واحدة معينة كما فعل نيوتن .

إذا أدركنا هذه الفروق ، يحق لنا على ضوئها أن نتساءل : ما هو كنه الجاذبية في النظرية النسبية ؟ وما هي هذه الهندسة التي نتكلم عنها ؟

وقبل أن نفعل ذلك علينا أن نعرف ما هو التسارع .

التسارع :

عندما بحثنا النظرية النسبية الخاصة ، كانت كل ابحاثنا قائمة على أجسام

تسير بسرعات معينة وكنا ندرس الظواهر الفيزيائية أثناء سيرها بسرعتها المعينة هذه . وكنا نفرض اثناء ذلك أن هذه الاجسام تسير بسرعات منتظمة . فعندما كنا نتحدث عن سفينة فضائية تسير بسرعة خمسة آلاف ميل في الساعة ، كنا نعني أن سرعتها ثابتة لا تختلف بين ساعة وأخرى ، وكان المفهوم لدينا أنها لو سارت عدداً كبيراً جداً من الساعات فإنها تقطع خمسة آلاف ميل في كل ساعة من هذه الساعات .

أما النظرية النسبية العامة فإنها تبحث السرعات المتغيرة ما بين لحظة وأخرى . وتغيّر سرعة الجسم ما بين اللحظة والأخرى يسمّى « التسارع ». فإذا تحركت سيارة من موقفها وأخذت تزيد سرعتها تدريجياً حتى أصبحت تسير بسرعة ستين ميلاً في الساعة ، فإننا نقول : إن السيارة بدأت من سرعة صفر وأخذت تتسارع أو مرّت في حالة تسارع حتى بلغت ستين ميلاً في الساعة . وهي في هذه الآونة موضع حديثنا في النظرية النسبية العامة . أما إذا سارت بعد ذلك بهذه السرعة مدّة طويلة أو قصيرة ، فيصبح الحديث عنها من شأن النظرية النسبية الخاصة .

والتسارع ظاهرة نشاهدها في جميع وسائل النقل ، ونشاهدها أيضاً في الأجسام الساقطة تجاه الأرض . والفيزياء تحدثنا بأن الاجسام الساقطة تتسارع نحو الارض بمقدار ٣٢ قدماً في الثانية في الثانية . أي أن الجسم أثناء سقوطه من مكان عال تجاه الأرض تزيد سرعته في كل ثانية اثنين وثلاثين قدماً .

وهناك نوع آخر من التسارع يسمى التسارع العكسي . وهذا نشاهده في الجسم السائر بسرعة معينة عندما تأخذ سرعته بالتباطؤ حتى يقف . وهذه الظاهرة نشاهدها في السيارة المسرعة (أو القطار المسرع) عندما تأخذ في التباطؤ استعداداً للوقوف . ونشاهدها أيضاً عندما نقذف حجراً أو كرة في الفضاء إلى أعلى . فإن الحجر ينطلق من يدنا بسرعة معينة كلما ارتفع إلى أعلى خفت سرعته هذه حتى يصل إلى لحظة يقف فيها في الفضاء ثم يبدأ

بالرجوع القهقري إلى الأرض . وهو في ارتفاعه يتسارع تسارعاً عكسياً وفي انخفاضه يتسارع تسارعاً عادياً ..

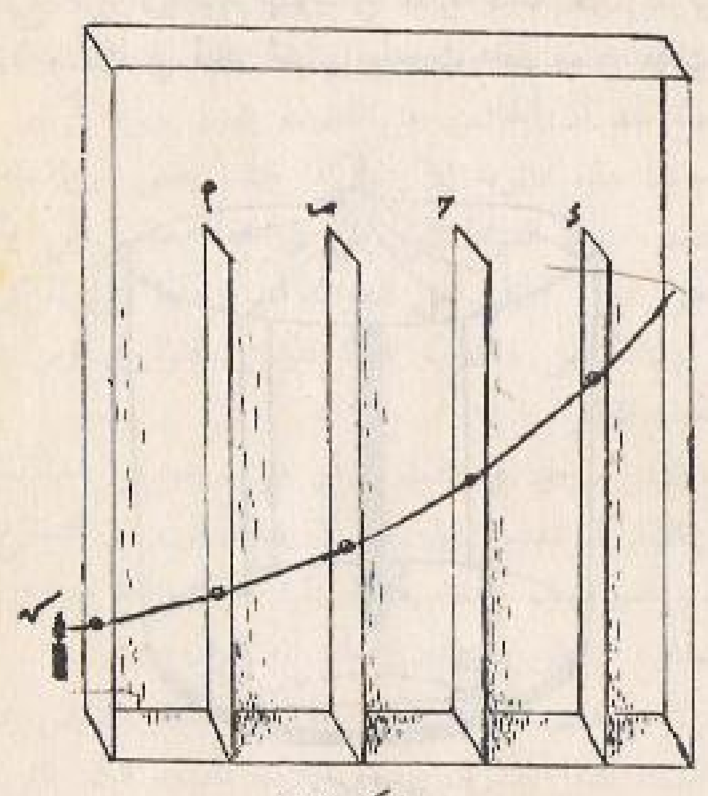
على أية حال ، فإذا كنا نجلس في سيارة واقفة على الارض ، وانطلقت سائرة إلى الامام ، فإننا نلاحظ أن أجسامنا قد اندفعت إلى الخلف ، وكأن قوة ما تشدنا إلى الجهة المعاكسة لاتجاه سير السيارة . حتى إذا أصبحت السيارة تسير بسرعة منتظمة فلن نعود نحسّ بشيء يدفعنا لا إلى الامام ولا إلى الخلف ، ونشعر باتزان اجسامنا في مواضعها . أما إذا أراد السائق أن يوقف السيارة فاننا نحس بأن شيئاً يشدنا إلى الامام . وإذا أوقفها السائق فجـأة خوفاً من اصطدام ، فليس بعيداً أن يقذف بنا إلى الأمام بشدّة بحيث تصطدم انوفنا بالمقعد الموجود أمامنا . وإذا كـان اصطدام انوفنا بما هو موجود أمامنا يجعلنا نفهم معنى التسارع ، فإنـه غير مذموم .

وهناك نوع ثالث من التسارع هو الذي يحدث عندما يسير الجسم في خط منحن . والأجسام السائرة في مدارات دائرية أو بيضوية تعتبر أنهـا سائرة في تسارع مستمر ، لأنها دائماً تغير اتجاه الخط المستقيم الذي كان من المفروض أن تسير فيه الاجسام . وأنت إذا ما كنت راكباً سيارة سائرة بسرعة منتظمة وغيّر السائق اتجاهها عند منحنىً على اليمين ، فإنك تجد شيئاً يدفعك إلى الشمال ، والعكس بالعكس . أي انك ، أيها القارئ ، تندفع دائماً إلى الجهة المعاكسة لاتجاه دوران السيارة . وأظنك تعرف هذه الحقيقة منذ أول مرة ركبت فيها السيارة .

مهما يكن من أمر ، فإن أينشتين كان أول من لاحظ بأنه لا يوجد فرق بين الجاذبية والتسارع ، أو على الأصح ، بأن الجاذبية هي نوع من التسارع .

وضرب على ذلك مثلاً شهيراً هو المصعد الكهربائي . وافترض ان جماعة من العلماء يركبون مصعداً في إعلى عمارة عالية ، فانقطع الحبل بهـم

وهوى المصعد باتجاه الأرض . إن المصعد ، كبقية الاجسام الساقطة سوف يسير بتسارع ، وسوف يحسّ العلماء فيه أن لا وزن لهم ولا تأثير للجاذبية عليهم . أي أن سير المصعد باتجاه مركز الارض يتسارع ٣٢ قدماً – ثانية–ثانية يلغي فعل الجاذبية الارضية . وليس للتسارع (أو للجاذبية) آثار ميكانيكية فقط ، بل له آثار على ظواهر فيزيائية أخرى . فالضوء مثلاً يبدو أنه يسير في خط منحن الشكل (٣٤) .



(شكل ٣٤)

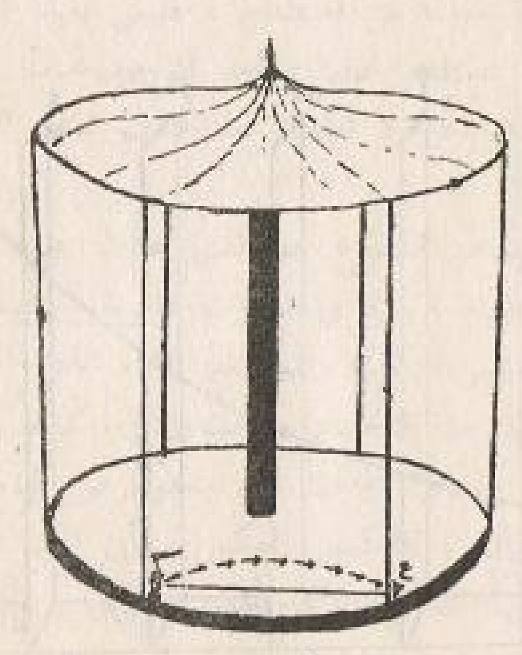
انحناء شعاع الضوء داخل المصعد المتسارع

لنفرض أن هناك شعاعاً من الضوء صادراً من الشمعة ش في الشكل (٣٤) ويدخل إلى المصعد من فتحة في جدار المصعد . من المفروض نظرياً أن الضوء يسير في خط مستقيم . ولكن المصعد ساقط بسرعة تجاه

الأرض ، فما يكاد الضوء يصل اللوحة الزجاجية ! حتى يكون المصعد قد
نزل قليلاً ، وهكذا في بقية اللوحات . فيجد العالم الموجود داخل المصعد
أن الضوء يسير في خط منحرف بدلاً من أن يسير في خط مستقيم .

وهناك مثل آخر على التسارع الدائري وأثره في بعض الظواهر الفيزيائية .
هل ركبت ، أيها القارئ ، الاراجيح ؟ وهل أنت خبير بأنواعها ؟ أرجح
أن هذا أمر قد حصل ، على الأقل قبل أن تكون قارئاً .

هناك نوع من الاراجيح يدور في دائرة كاملة حول المركز (الشكل
٣٥) . إذا جلست في أحد أطرافها وأخذت تلف به ، فإنك تحس بأن



(شكل ٣٥)

الارجوحة الدائرة

شيئاً يدفعك بعيداً عن المركز ، بحيث تستطيع أن تقول بأن هناك جاذبية
من نوع ما تجذبك إلى الخارج . ونحن في هذه الحالة نكون في وضع
عكس ذلك الذي نحس به نحو الكرة الارضية . إذ أن جاذبية الكرة

الأرضية تجذبنا إلى المركز ، أما في هذه الارجوحة فالجاذبية (أو قوة
الشدّ ، أو أثر التسارع) تشدنا بعيداً عن المركز .

وإذا ما حاولت أن تفحص مسير شعاع الضوء الصادر من الشمعة ش
فإنك ستجد أنه لن يسلك الخط المستقيم ش ع ، بل سيسلك الخط المنحني
ذا الأسهم في الشكل (٣٥) .

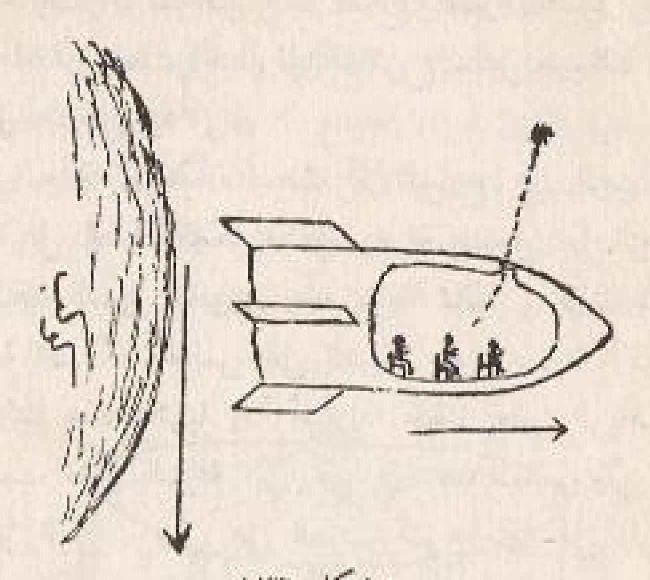
ويمكننا في حالة كهذه أن نبحث أثر التسارع على الزمن . فلو فرضنا
إنساناً يجلس على الطرف ومعه ساعة سحرية يسجل بها الزمن ، وانساناً
آخر يجلس عند العمود المحوري ومعه ساعة مماثلة ، فإننا بتطبيق النظرية
النسبية الخاصة نجد أن الجالس على الطرف يدور بسرعة أكبر . ومع أن
السرعة في حالتنا هذه دائرية إلا أننا إذا طبقنا بعض الرياضيات العليا
يمكن أن نحسب مدى السرعة التي هي في خط مستقيم والتي يكون لها
أثر على تباطؤ الزمن . وهي على الطرف أسرع منها على المركز اضعافاً
مضاعفة ، وبناء على ذلك ، فإننا نتوقع تباطؤاً في الزمن على الطرف
أكثر منه حول المركز .

إن هذا الأثر موجود في التسارع أو هو موجود في الجاذبية ، سمّها
ما شئت . فالنظرية النسبية تقول بأنه **لا يوجد فرق بين التسارع والجاذبية.**
وأن ما يسميه الفيزيائيون الكلاسيكيون بقوة الجاذبية ما هو في الواقع إلا
نوع من التسارع . ولن يستطيع إنسان أن يفرق بينهما .

كنا قد تركنا المصعد الكهربائي هاوياً إلى باطن الأرض بمن فيه من
العلماء . والعلماء الذين يقدرون حقيقة افلات المصعد الكهربائي لا يفكرون
في الفرق بين التسارع والجاذبية ، إنما سيفكرون في الحقيقة المرّة التي
سوف يؤول اليها أمر كل من ركب المصعد وانقطع به الحبل .

ولكن لماذا تركنا مثلنا التقليدي الذي كنا نضربه في النسبية الخاصة ؟
فلنعد اليه ولنركب سفينة فضائية شكل (٣٦) ، تخترق بنا عبر الفضاء
بسرعة منتظمة مقدارها خمسة وعشرون ألف ميل في الساعة بالنسبة لأحد

النجوم . وإذا كنا بعيدين عن الاجرام السماوية فإننا لن نحسّ بشيء يجذبنا ونكون في حالة فقدان الجاذبية . وسوف نبقى جالسين في مقاعدنا



(شكل ٣٦)

الجاذبية والتسارع في السفينة الفضائية

المثبتة في ارض السفينة (ولن ننسى أن باستطاعتنا أن نضع كرسياً على أي جدار من جدرانها أو على سقفها ونجلس عليه) . على أية حال فإذا أراد قائد السفينة أن يزيد من سرعتها ، فإننا نحسّ أن أجسامنا تندفع إلى الناحية المعاكسة ، طيلة مدة التسارع ، حتى يصل القائد إلى السرعة التي يريدها . فاذا ما انتظمت السرعة لم نعد نحسّ بأيّ شيء يشدنا إلى جهة من الجهات . وعلى ذلك ، فعندما نكون داخل السفينة الفضائية نستطيع أن نحكم متى تتسارع السفينة إلى الأمام ، ومتى تتسارع تسارعاً عكسياً (أي تتباطأ) . وإذا ما دارت وغيّرت اتجاهها فاننا نستطيع أن نعرف إلى أي جهة دارت . كل هذا نستطيع أن نحكم عليه ونحن داخل السفينة دون أن يكون لنا أي اتصال بالخارج ، وذلك فقط من ادراكنا للجهة التي تميل اليها أجسامنا .

ولكن لنفرض أن السفينة الفضائية كانت سائرة بسرعتها المنتظمة سيراً رتيباً ونحن بداخلها مطمئنون هادئون . وحدث أن مرّ خلفها كوكب عابر (الشكل ٣٦) بحيث لم يؤثر على اتجاهها ولا على سرعتها ، واستمرت سائرة في طريقها دون ان تكترث له . إننا نحسّ عندئذ أن أجسامنا تندفع إلى الخلف ، ولن نستطيع أن نعرف بحال من الأحوال ما إذا كان شيء يجذبنا إلى الخلف أو أن قائد السفينة جعلها تتسارع إلى الأمام . فليس هناك من طريقة نستطيع أن نفرق بها ما بين الجاذبية والتسارع . ويسمي آينشتين هذه الظاهرة « قانون التكافؤ » بين الجاذبية والتسارع .

قانون الجاذبية عند اينشتين :

مع ان آينشتين لا يعترف بوجود شيء اسمه قوة الجاذبية بالشكل الذي وضعه فيه نيوتن ، الاّ انه يسمّي قانونه هذا « قانون الجاذبية » . وهذا القانون يحدد مسار الأجسام التسارعي في الفضاء المحدّب الرباعيّ الأبعاد .

وإذا ما القينا نظرة أخرى على قانون نيوتن نجد أنه مكوّن من اربعة عوامل فقط :

$$\text{قوة الجاذبية} = \frac{ث \times ك_1 \times ك_2}{م^2}$$

ث = ثابت ، ك١ = كتلة الجسم الأول ، ك٢ = كتلة الجسم الثاني ، م = المسافة .

وإذا ألقينا نظرة على جسم منتظم التحدب ثلاثي الابعاد ، فإننا نستطيع أن نحدد أي نقطة فيه برقم واحد (أي نحتاج إلى عامل واحد) هو بعد هذه النقطة عن المركز (أو نصف القطر) .

ولكن تحديد مسار نقطة في فضاء محدب ذي اربعة ابعاد (أي قانون جاذبية آينشتين) يحتاج إلى عشرين عاملاً ، لكي يحدد كل نقطة فيه ونوع التوائها ومدى التوائها ... إلى آخره ، مما يعلمه آينشتين والمتخصصون في الرياضيات العليا .

وسوف لا نورد معادلة قانون آينشتين في هذا البحث ، لأنها تحتاج إلى حسابات معقدة هي أعلى من مستوى هذا الكتاب .

على أية حال ، فإذا شئنا أن تعدل قانون نيوتن بحيث نحصل على نتائج قانون آينشتين ، فاننا سنجده كما يلي :

$$\text{قوة الجاذبية} = \frac{ث \times ك_1 \times ك_2}{م^{٢,٠٠٠...٠١٦}}$$

ومن هذا يتبين لنا أن الفرق بين القانونين في النهاية ضئيل جداً ، وأن قانون نيوتن كان قريباً جداً من الحقيقة ، ولهذا السبب عاش قرنين ونصف قرن من الزمن .

خلاصة القول ، أن من يرفضون قانون نيوتن من علماء الفيزياء لا يرفضونه للفرق الضئيل جداً بينه وبين قانون آينشتين ، فضآلة هذا الفرق لا تكاد تكون ملحوظة ، إنما يرفضونه لأنه يضع أمامهم لغزاً حسابياً ، إذا اطلع عليه الانسان يقول : وكيف جاءت قوة الجاذبية هذه ؟

وهم يقبلون قانون آينشتين لأنه يعطي صورة هندسية للكون ، عامة شاملة ، ومن خلال هذه الصورة يستنتج الفيزيائي المسار الهندسي للجسم في الفضاء المحدب ، وإذا اطلع الانسان عليه يقول : وكيف يمكن أن يكون غير هذا ؟

البَراهين

البرهان الاول : صحة قانون الجاذبية :

إن قانون نيوتن وقانون آينشتين متقاربان جداً في معظم نتائج المسائل التي يحلاّنها . والفرق الضئيل لا يثبت صحة احدهما ولا بطلان الآخر . ولكن حينما تعارض القانونان تعارضاً بيناً ملموساً نجد أن قانون آينشتين هو الصحيح .

لقد مرّ بنا أن الحضيض الشمسي للكوكب عطارد يدور حول الشمس بمقدار ٥٧٤ ثالثة كل قرن من الزمن . وقد حاول العلماء جهدهم أن يفسروا ذلك بحسب قانون نيوتن ، فاستطاعوا أن يفسروا ٥٣١ ثالثة ، وبقيت الثلاثة والاربعون ثالثة الأخرى معضلة من معضلات الفيزياء الكلاسيكية ، ووقف قانون نيوتن أمامها عاجزاً .

أما قانون آينشتين في الجاذبية ، فانه يحلها حلاً عجيباً . وعند تطبيقه على دوران عطارد يعطينا الجواب الصحيح ٥٧٤ ثالثة كل قرن . وكان هذا أول برهان على صحة النظرية النسبية العامة . وهذا الحلّ بالذات هو أكثر الدلائل اقناعاً نظراً للفرق الكبير الملموس بين الواقع وبين نتائج نيوتن .

البرهان الثاني : الضوء الأحدب :

بعد أن شطبت النسبية على قوة الجاذبية ، وبعد أن حدّبت لنا الفضاء بمكانه وزمانه ، أي حدبت لنا الكون كله ، ترى من الواجب عليها أن تؤدي مهمتها على الوجه الأكمل فتحدب لنا ما عكن أن نظن بأنه لايزال مستقيماً ، الا وهو الضوء . ونصبح وليس أمام أعيننا شيء في هذا الوجود دون تحديب والحمد لله .

وأظن القارئ لا يتردد في الاشتراك مع الكاتب في تقديم الشكر الوفير لأينشتين على فكرته النيّرة ونظرته الثاقبة . ألا نرى أن كل شيء أمامنا في هذه الحياة ملتوٍ متعرج ؟ ألا ندرك أن الاستقامة في غالب الاحيان لا توصل الإنسان إلى شاطئ السلامة ؟ ألا نعلم تمام العلم أن الذين يتلقون الضربات واللكمات على أنوفهم وقمم رؤوسهم هم اولئك الذين يسيرون في خط مستقيم ؟ ألا يصف الناس الرجل الذي يتمسك بالمثل العليا في كل لحظة من لحظات حياته بأنه « أهبل » ؟ ألا نرى أن رجلاً كهذا يتحطم رأسه على صخرة الحياة كل يوم ؟ ألم تعلمنا الحياة أن أساليب اللف والدوران هي أقصر الطرق لبلوغ الأهداف ؟

فإذا كانت هذه هي حقائق حياتنا العادية ، وجاء آينشتين ليقول لنا بأن الكون كله ملتوٍ منحنٍ متعرج ، وأن الاستقامة لا وجود لها فيه ، وأن أقصر الطرق هي الخطوط الملتوية المنحنية ، ألا نكون له من الشاكرين ؟

وستكون نظريته أقوى وأقرب إلى الحياة إذا حدب لنا كل شيء مستقيم.. حتى شعاع الضوء !

تقول النسبية العامة بأن مجال الجاذبية الكائن حول كتلة في الفضاء ، يشد اليه شعاع الضوء باتجاه مركز التحدب . وسواء أردت أن تعتبر هذا الأثر ناشئاً عن تحدب الفضاء نفسه أو عن مجال الجاذبية ، فالواقع أن

لا فرق بين التعبيرين في النظرية النسبية العامة . لكن دعنا نتكلم عنه بلفظ الجاذبية ، مع أننا أصبحنا نعرف الآن أنها ليست قوة وإنما هي مسار هندسي .

وكما أن الأرض تجذب الرصاصة أو السهم السائرين في مجال جاذبيتها ، كذلك نجد أن الكوكب أو النجم يجذب شعاع الضوء السائر في مجال جاذبيته . لكن قد يكون أمراً عادياً أن نتكلم عن جذب الارض للرصاصة أو السهم ، فأشياء كهذه لها وزن حتى وهي طائرة في الفضاء ... أما الضوء ...!!

ولكنا قلنا في النظرية النسبية الخاصة عندما كنا نبحث موضوع الطاقة والكتلة ، بأن للضوء وزناً ، وقلنا بأن وزن الضوء الذي تصدره الشمس (٤ × ١٠^{١١}) طناً كل يوم .

والآن نزيد على ذلك قائلين بأن هناك نظرية تحدثنا بأن الضوء مكوّن من أجسام صغيرة تسمى « فوتونات » . وهذه الفوتونات تسير بسرعة ١٨٦٣٠٠ ميلاً/ثانية . وللفوتونات كتلة وإن كانت صغيرة جداً . ولذلك فإن وقوع الفوتونات على سطح ما يحدث ضغطاً ، وهي بذلك شبيهة بقطرات المطر التي تحدث ضغطاً أثناء انهمارها على سطح البيت . والظاهرة هذه معروفة في الفيزياء باسم الضغط الاشعاعي . وهو ضغط قليل جداً نظراً لصغر حجم الفوتونات . والقسم الضئيل جداً من أشعة الشمس الذي يقع دائماً على نصف سطح الكرة الارضية يبذل ضغطاً يقدره العلماء بمئة وستين طناً . وقد يتوقع القارئ أن تبتعد الأرض قليلاً قليلاً عن أمها الشمس نتيجة لهذه القوة التي تطردها عنها باستمرار . لكن ليطمئن بالاً . فالقوة التي تحفظ الارض في مدارها أقوى من ذلك باضعاف مضاعفة .

وقد رأينا فيما سبق ، عندما بحثنا المصعد الكهربائي المتسارع أن الضوء

ينحني فيه حسب التسارع (شكل ٣٤) . ولاحظنا الظاهرة نفسها في الارجوحة الدائرية (شكل ٣٥) . وإذا اعدنا النظر إلى السفينة الفضائية (شكل ٣٦) فإننا نرى فيها أيضاً أن شعاع الضوء الآتي من نجم بعيد سوف ينحني ويراه الركاب داخلها منحنياً . وهكذا فإننا نرى أن هذه الظاهرة موجودة في جميع أشكال التسارع .

وبناء على قانون التكافؤ بين الجاذبية والتسارع ، فيجب أن ينحني الضوء في مجال الجاذبية .

ولكن كل بحثنا عن انحناء الضوء أثناء التسارع في الحالات السابقة كان نظرياً فقط . ولن نقنع عند بحث الجاذبية بهذه الحجج النظرية وحدها .

إذن ما هي الوسيلة العملية لمعرفة انحناء الضوء عندما يمرّ في مجال الجاذبية ؟

إذا أردنا أن نسير على هدى في قضية شائكة كهذه ، كان علينا أن نعرف وزن شعاع الضوء ! وهكذا ترى بأم عينيك ، أيها القارئ ، أن العلماء المشهود لهم برجاحة العقل واتزان التفكير ، يحاولون أن يعرفوا وزن شعاع من الضوء ! فيجب أن لا نستغرب أمراً في هذا الوجود !

إننا نستطيع أن نعرف وزن سهم سائر في الفضاء ، أو وزن رصاصة منطلقة في الجو ، وذلك إذا ما التقطنا السهم أو الرصاصة ، ووضعنا كلاً منهما في الميزان . (وأرجو من القارئ أن لا يحاول تطبيق هذه التجربة عملياً ، فيمد يده للسهم أو الرصاصة وهما منطلقان) .

أما الفوتونات ، فلم يستطع عالم من العلماء ، أن يصنع شبكة يصطادها بها . وبالاضافة إلى ذلك ، فهم أنفسهم يقولون بأن كتلة الفوتون في حالة الراحة تساوي صفراً ! أي أنه لا كتلة له عندما يكون واقفا ، وإذا تحرك أصبحت له كتلة !

هكذا هم يقولون !

وعلى ذلك ، فإذا أردنا أن نعرف وزن الفوتون يجب أن نزنه وهو سائر في الفضاء بسرعته البسيطة التي تبلغ ١٨٦٣٠٠ ميل-ثانية فقط !

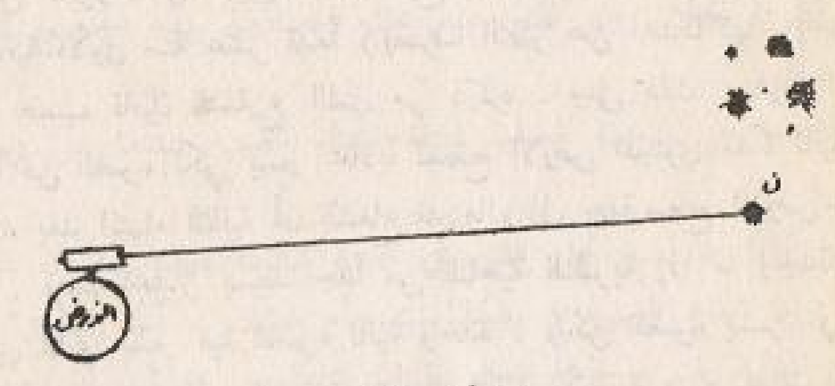
حتى هذا الكلام الذي يبدو لنا غريباً هو أمر غير صعب على العلماء من الناحية النظرية على الأقل . فإذا كان لشعاع الضوء وزن حقاً ، وكان يتأثر بناء على ذلك بمجال الجاذبية ، فسوف ينحني في طريقه أثناء مروره بهذا المجال ، إذا كان تحدب الفضاء كافياً . أما إذا كان مجال الجاذبية لا يؤثر فيه لعدم وجود كتلة له ، فإنه يظل سائراً في خط مستقيم .

ومن المعروف في الفيزياء أن جميع الاجسام الساقطة على الارض تهبط في الثانية الأولى ستة عشر قدماً (بصرف النظر عن احتكاكها بالهواء) ، وذلك حسب قانون التسارع الذي مرّ ذكره . وعلى ذلك ، فإذا اطلقنا شعاعاً من الضوء لكي يسير محاذياً لسطح الارض المستوي مدّة ثانية واحدة فستجد بعد انتهاء الثانية أن الشعاع قد مال إلى جهة سطح الارض ستة عشر قدماً . وهذا اختبار بسيط جداً من الناحية النظرية إذا ما وجدنا السهل المستوي الذي يسير فيه الضوء ثانية واحدة . ولكن الضوء يسير في الثانية ١٨٦٣٠٠ ميل ، أي انه يدور حول الكرة الأرضية سبع مرات في هذه الفترة . لذلك أصبح من المستحيل أن نجري هذا الاختبار على سطح الكرة الارضية وذلك لضيق مساحتها الشديدة بالنسبة لمتطلباته .

مهما يكن من أمر ، فإن في نظامنا الشمسي كتلة مجال جاذبيتها أكبر من مجال جاذبية الأرض بأضعاف مضاعفة — ألا وهي الشمس . وسيكون انحناء الضوء عندها تبعاً لذلك أكبر مما هو في الارض . فالشمس أكبر من الأرض ٣٣٠٠٠٠ مرّة ومعدل كثافتها ربع معدل كثافة الأرض ، فيكون أثر مجال الجاذبية فيها أقوى منه في الارض بسبع وعشرين مرة ، وأقوى منه في المشترى (أكبر الكواكب) بأكثر من عشر مرات . أي ان مجال الجاذبية في الشمس أقوى منه في أي جسم آخر في نظامنا الشمسي . وسيكون انحناء الضوء في هذا المجال أكثر منه في أي محلّ آخر .

وعلى ذلك ، فالشمس أحسن مقياس لوزن الضوء حسب معرفتنا .

وشعاع الضوء في اختبارنا الذي نريد أن نجريه يجب أن يكون قادماً من نجم بعيد طبعاً ، لا وجود لاجرام سماوية أخرى بيننا وبينه لتعيق مجرى شعاعه أو تؤثر عليه . ومن المفروض ساعتئذ أن يكون الشعاع آتياً في خط مستقيم من ذلك النجم إلى عين الراصد ، كما هو في الشكل(٣٧) وسوف يرى الراصد هذا النجم بالنسبة إلى النجوم الأخرى المحيطة به ، ويقدر موقعه منها .

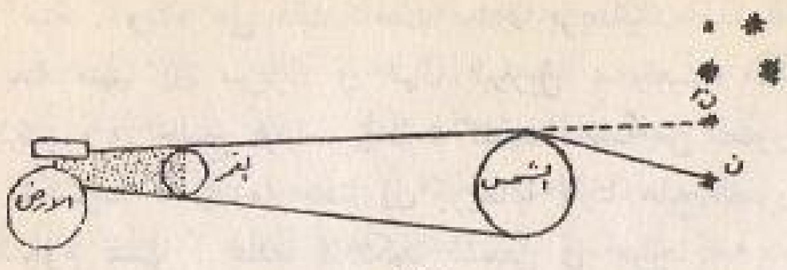


(شكل ٣٧)

النجم المرصود

وعلينا بعد معرفتنا لهذه الامور أن ننتظر حتى تدور الأرض في مدارها وتأتي إلى موضع من المدار تكون فيه الشمس ما بيننا وبين هذا النجم ، بحيث يمرّ شعاعه مماساً لسطحها قبل أن يقع على عين الراصد ، ومن ثم نقدر فيما إذا كان قد انحنى أم لم ينحن .

ولكن الصعوبة في اختبار كهذا ، هي أن النجم الذي يكون وراء الشمس بحيث يمرّ شعاعه مماساً لسطحها لا يمكن أن نراه بحال من الأحوال نظراً لشدة بريقها وتوهجها في عين الرائي . والحل الوحيد لهذه المشكلة هو أن نراقب هذا النجم أثناء كسوف كلي للشمس ، عندما يغطي القمر كل



(شكل ٣٨)

انحناء الضوء المماس للشمس

ضوءها ، فتصبح مظلمة أمام أعيننا ، ونستطيع في هذا الوقت أن نرى النجم الذي يأتينا شعاعه مماساً لسطحها . شكل (٣٨) .

لهذا السبب ، فإن أينشتين عندما نشر النظرية النسبية العامة قال بأن هذا الأثر يجب البحث عنه أثناء الكسوف الكلي للشمس .

وبما أن انحناء ضوء النجم الذي يمس الشمس يكون ضئيلاً جداً ، لذلك من الضروري أن تؤخذ صور غاية في الدقة . ولهذا السبب تؤخذ صور دقيقة تبيّن موضع النجم بالنسبة للنجوم الأخرى أثناء الكسوف ، ثم تؤخذ صور أخرى تبيّن موضعه بالنسبة للنجوم المجاورة عندما لا تكون هناك شمس في الطريق . وسوف نجد أثناء الكسوف أننا نرى النجم نَ بدلاً من ن في الشكل (٣٨) . أي أن موضع النجم ن قد تغير بالنسبة للنجوم الأخرى أمام أعيننا . هذا إذا صحت النظرية النسبية العامة وكانت الشمس تحدّب الفضاء وتحني الضوء في مجال جاذبيتها .

وقد قال أينشتين في نظريته أن الضوء الذي يمسّ سطح الشمس ينحني بمقدار ١,٧٤ ثالثة .

وقد نشرت النظرية النسبية العامة سنة ١٩١٦ ، وفيها هذا التنبؤ . وحدث أول كسوف كلي بعد ذلك في ٢٩ أيار سنة ١٩١٩ . وكان هذا الكسوف في هذا الموعد ملائماً تماماً للتجربة ، لأن الأرض والقمر والشمس تكون كلها على خط مستقيم مع مجموعة من النجوم المتلألئة في آخر أيار

من كل سنة . وبناء على ذلك تأهبت بعثتان بريطانيتان لهذا الغرض ، ذهبت بعثة منهما إلى سوبرال في شمال البرازيل ، وذهبت الأخرى إلى جزيرة برنسيب في خليج غينيا . وأخذت كلتاهما عدداً من الصور للنجوم المجاورة للكسوف ، وعندما عادتا إلى بريطانيا قارنتا هذه الصور بصور أخرى للنجوم نفسها . عندما لا تكون الشمس في جوارها .

وجدت بعثة سوبرال أن معدل انحناء الضوء ١،٩٨ ثالثة ، بينما وجدت بعثة برنسيب أن انحناءه ١،٦ ثالثة . وقرب هذين الرقمين من الرقم ١،٧٤ الذي أعطاه أينشتين كان كافياً لاثبات هذا الأثر . أما الفرق ما بين الرقمين والرقم الذي حدده أينشتين بحساباته ، فيمكن أن نعزوه إلى الأجهزة التي تستعمل للقياس . فأمور دقيقة حساسة كهذه تقيس الجزء في المئة من الثالثة (ونحن نعرف الآن ما هي الثالثة) لا تستطيع الاجهزة ان تعطينا الرقم الصحيح تماماً ، وانما تعطينا رقماً تقريبياً ضمن حدود معينة من الخطأ المسموح به في هذه الحالات .

وقد قامت بعثات أخرى فيما بعد ، وأجرت التجربة نفسها وحصلت على نتائج مماثلة .

ومن الجدير بالذكر اننا لو استعملنا قانون نيوتن في هذا الموضع من حيث جذب الشمس لكتلة الفوتون فسنحصل على قيمة لإنحناء شعاع الضوء هي نصف القيمة التي نحصل عليها من تطبيق قانون الجاذبية النسبية . وسيبلغ انحناء الضوء الذي يمس سطح الشمس ٠،٨٧ ثالثة . لكن جميع التجارب التي أجرتها مختلف البعثات كانت تعطي نتائج أكبر من هذه بكثير ، وفي حدود القيمة التي يعطيها أينشتين . وهذا الاختبار يظهر لنا الفرق الضئيل بين قانوني نيوتن وأينشتين ويرجح صحة الأخير .

وما دامت الكتل تجذب الضوء اليها بشكل من الاشكال ، الا يتبادر إلى ذهن القارئ أن يسأل السؤال التالي : وكم ستكون كتلة النجم الذي فيه من الجاذبية ما لا يسمح بإفلات أي شعاع من الضوء بحيث لا تستطيع

الأشعة أن تتركه لأن جاذبيته تحفظها في حرز حريز ؟ إن العلماء يقدرون أن نجماً بحجم الشمس إذا بلغت كثافته ٤٠٠،٠٠٠ مرّة كثافة الشمس ستكون لديه صفة من هذا القبيل . فإذا ما وجدت نجوم كهذه فإننا لن نستطيع أن نراها اطلاقاً ، مهما كانت قريبة منا ومهما كانت متوهجة ! وقد تكون هناك نجوم كهذه لا نعلم عنها شيئاً !

مثال على ذلك الثقوب السوداء

البرهان الثالث : تباطؤ الزمن عند ازدياد الكتلة

نتيجة أخرى من نتائج النظرية النسبية العامة هي أثر الكتل في سير الزمن .

لقد مرّ بنا في النظرية النسبية الخاصة أن الزمن يتباطأ بزيادة السرعة إن تباطؤاً مماثلاً يحدث نتيجةً وجود كتل كبيرة . فجميع العمليات الميكانيكية والكيماوية والحيوية تتباطأ عند ازدياد الكتلة . فالزمن في المشترى (أكبر الكواكب) ابطأ منه في الأرض ، وفي الشمس أشد بطئاً . وقد حسب أينشتين الزمن في الشمس فوجد أن الثانية هناك تساوي ١،٠٠٠٠٠٢ ثانية على الارض . أي أننا لو تمكنا بشكل من الاشكال أن نضع ساعتين سحريتين متماثلتين احداهما على الارض والأخرى على الشمس وقارنا بينهما فإننا سنجد بعد ٥٠٠٠٠٠ ثانية (أي حوالى ستة أيام) أن الساعة الشمسية قد أخرت ثانية واحدة .

وليس لدينا بالطبع وسيلة نضع فيها ساعة في الشمس لأن حرارتها ستذيب الساعة وواضعها . ولكن سبق وقلنا أن هناك ساعات ذرّية نعرف بها الزمن من تذبذب الذرات . وأظن القارئ لا يزال يذكر اختبار آيف الذي ورد ذكره لاثبات تباطؤ الزمن في النظرية النسبية الخاصة .

إن الضوء القادم الينا من الشمس مسبب عن ذبذبة أنواع مختلفة عديدة من الذرات ، فإذا عرفنا سرعة ذبذبتها بطريقة من الطرق ، وقارناها

بسرعة ذبذبة الذرات المماثلة على سطح الارض ، استطعنا أن نقارن سير الزمن هنا بسيره هناك . فإذا كانت ذبذبة الذرات في الشمس أقل من مثيلاتها على الارض كان معنى ذلك أن الزمن في الشمس أبطأ منه على الأرض .

وسرعة ذبذبة الذرات يمكن أن نستدل عليها من المحلل الطيفي الذي سبق وصفه في النظرية النسبية الخاصة . فازدياد السرعة ينقلها إلى جهة البنفسجي وتباطوءها ينقلها إلى جهة الأحمر .

وقد حاول العلماء أول الأمر أن يلاحظوا هذه الظاهرة في التحليل الطيفي لضوء الشمس . ولكن انتقال الضوء إلى جهة الأحمر كان طفيفاً جداً لا يكاد يكون ملحوظاً . ولذلك لم يستطيعوا أن يتخذوا دليلاً على صحة النظرية من تجربة مشكوك فيها .

وتحولت أنظار العلماء بعد ذلك إلى نوع من النجوم يسمى الاقزام البيضاء . وهذه الاقزام صغيرة الحجم إذا ما قورنت بمعظم النجوم الأخرى ولكن كثافتها عظيمة جداً . وأحد هذه الاقزام اسمه مرافق الشعرى اليمانية ، وقطره يبلغ ٣ بالمئة من قطر الشمس ولكن كثافته ٢٥٠٠٠ مرّة أكثر من كثافتها . وفي نجم كهذا يبلغ وزن الذر الواحد من مادته ستة وثلاثين طناً ! ومدى التباطوء في ذبذبة الذرات فيه يبلغ ثلاثين مرّة عما هو عليه في الشمس . وبتحليل ضوئه الطيفي وجد أن انتقال الضوء كان واضحاً تجاه الأحمر وبالقدر المتوقع .

وهكذا أصبح هذا الاختبار دليلاً قوياً على صحة النظرية النسبية العامة ، بالاضافة إلى الادلة الأخرى .

* * *

ويجب أن لا يغيب عن بالنا أثناء بحثنا لأثر مجال الجاذبية على تباطوء الزمن ، أن هذا التباطوء يكون أكثر ما يكون في مركز التحدب أو مركز المجال . ويخف هذا الأثر تدريجياً كلما ابتعدنا عن المركز ، وذلك لأن

تحدب الفضاء نفسه يخف تدريجياً حتى يتلاشى . وقد سبق وشرحنا ذلك عندما ضربنا المثل بالهلام الذي يملأ الوعاء الزجاجي .

وبناءً على ذلك ، فإن تباطوء الزمن في مركز الشمس أكثر منه على سطحها ، وهكذا فكلما ابتعدنا عن المركز قل التباطوء .

وبالمثل ، فاذا أخذنا الأرض مثلاً ، فسيكون الزمن في مركز الكرة الأرضية أكثر تباطوءاً منه على سطحها . حتى على السطح نفسه فإن الزمن يختلف حسب المرتفعات والمنخفضات . فهو في السهل ابطأ منه على قمم الجبال . وسيكون أبطأ مكان مأهول يسير فيه الزمن على سطح الكرة الارضية هو غور الاردن ومدينة اريحا التي يعيش فيها كاتب هذه السطور. فقد خلقها الله تحت مستوى سطح البحر بحوالى اربعمائة وخمسين ياردا .

وبناءً على ذلك ، فالقاطنون في اريحا يهرمون أقل مما يهرم القاطنون في عمان والقدس . وذلك لأن مرور الزمن عندهم ابطأ . فإذا كنت أيها القارئ راغباً في إطالة عمرك والاستمتاع به بضعة ثوان زيادة عن عمرك العادي فاقبل نصيحة أينشتين واذهب للسكنى في اريحا ذات الزمن الطويل . ولكني أود أن الفت انتباهك إلى أن شمس الصيف فيها تأخذ وقتاً أطول وهي تشوي ظهور قاطنيها .

وقد يحسب القارئ أن هذا الكلام شطحة من شطحاتنا التي اعتدناها بين الآونة والأخرى . ولكن العلماء فعلاً حاولوا جهدهم أن يكتشفوا الفرق في سير الزمن على سطح الارض نفسها . وقد نجح موسباور **Mössbauer** الاستاذ في جامعة ميونيخ حالياً ، في ايجاد طريقة لهذا الغرض . فقد تمكن من ايجاد أشعة جاما ذات ذبذبة صافية جداً ، بحيث يمكن قياس ذبذبتها بدقة متناهية ومعرفة التغيّر فيها مهما كان ضئيلاً . وبناءً على اكتشافه هذا ، استطاع علماء آخرون أن يجدوا الفرق في ذبذبة هذه الأشعة إذا ما تغيّر موضع ارتفاعها عن الارض مدى بضعة عشرات من الاقدام !

وهذا الفرق هو بالضبط ما تتنبأ به حسابات النظرية العامة .

الكَوْن

هذا الكون

إن المرء لا يفكر عادة في الكون إلاّ إذا بلغ به الحنق أشده من تصرفات بعض عباد الله الذين يضطرونه مرغماً إلى اللجوء إلى هذا النوع من التفكير . ونجد في كثير من الاحيان تصرفات من بشر يتساءل الانسان بعدها : ولمَ خلق الله هؤلاء البشر في هذه البقعة من الكون ؟

فالصديق الذي أوليته ثقتك فكان غير أهل لها ، واعتبرك غبياً لأنك وثقت به ؛ والرجل الذي يتشدق بالمبادئ طالما كانت المبادئ تجارة رابحة بين يديه ؛ والتاجر العربيّ الذي يقدم لك البضائع الفرنسية ويضع يده مربتاً عليها قائلاً : « مصنوعات باريس » وكله الفخر والاعتزاز حتى تخال أن باريس اسم أمه أو أبيه ؛ والقوم الذين يرفعون القومية العربية شعاراً في بعض المناسبات ، فإذا جاءت مناسبة أخرى ، وتوهموا أن لديهم بعض السلطة ، جاءوا إلى من يؤمنون حقاً بهذه القومية وسحلوهم سحلاً أو دفنوهم أحياء – كل هؤلاء ، وأمثالهم كثر يجعلونك ترى أن الكون ضيق جداً على سعته ، بحيث لم يعد فيه متسع للخلق الكريم .

على أية حال ، فإن ذكر الكون يخطر ببالك مرّات عديدة كل يوم ، لكن في ظروف غير محببة في العادة . أما اولئك الذين يجلسون إلى أنفسهم

رقم الإيداع : ٩٣/١٦٠٢

المطبعة العربية الحديثة



وهم في غاية الهدوء وتمالك الأعصاب ويفكرون في طبيعة الكون وامتداده ونهايته ، فهؤلاء نسميهم في الغالب فلاسفة . فإذا كنت أيها القارىء ممن يفكرون في خلواتهم في هذه الأمور ، فيحق لك أن تعتبر نفسك فيلسوفاً .

مهما يكن من أمر ، فإن البحث في نهاية الكون وحدوده وشكله الكلي هو أقرب إلى الفلسفة منه إلى العلم ، أو إن شئت ، قلنا هو فلسفة العلم ، وذلك لعدم وجود اثباتات كافية للنظريات التي تظهر في هذا الشأن . والنظريات نفسها في هذه الحالة تصبح مجرد تكهنات لا أكثر ولا أقل . والنظرية التي تنسجم مع واقع المعلومات الفلكية هي التي تؤخذ على أنها صحيحة .

وسوف نرى فيما يلي أن العلماء قد وضعوا للكون نماذج عديدة ، يختلف كل نموذج حسب رأي العالم الذي وضعه . وسوف نجد أن تقدم المعلومات الفلكية هو العامل الرئيسي في تدعيم صحة هذا النموذج أو ذاك .

والصعوبة هنا ترجع إلى أننا ، في هذه الحالة ، نريد أن نبحث شكل الكون ككل ، وهل هو متناه أم لا نهاية له ، وهل هو محدد أم ليست له حدود — أي أننا نريد أن ندرس جغرافية مناطق لا نراها ولا نحلم في المستقبل أن نراها ، ونريد أن نرسم خريطة لهذه المناطق ونحن لا نعرف عنها شيئاً ولا نستطيع أن نحدد موقعنا منها .

وإذا كنا نعني بالمناطق اطراف الكون ، فيكون قصدنا الآن أن نرسم خريطة لشيء لا نعرف إذا ما كان موجوداً أم غير موجود .

فحيثما أدرنا التلسكوب نجد نجوماً ومجرات درسها الفلكيون وحددوا معالمها واعطوها اسماءها وقدروا أبعادها النائية جداً بالملايين والبلايين (البليون هو ألف مليون) من السنوات الضوئية .

ولكن الفلكيين مهما كدسوا من اصفار امام ارقام السنوات الضوئية ، ومهما بعد مدى النظر الذي يرونه في تلسكوباتهم ، فانهم يقفون عند حد

معين ويقولون « إننا لا ندري ما وراء ذلك » .

وعلينا أن نعتبر أن أرقام الفلكيين التي يحددون بها هذه الابعاد هي أرقام علمية ما دام تحديدها يقوم على أساس علمي .

أما ما وراء الحدّ الذي تصل اليه تلسكوباتهم فسيكون موضع التكهن وسيكون فيه مجال للخطأ غير قليل ومجال للفلسفة غير قليل أيضاً .

وعند بحث كهذا يقف العقل الانساني عاجزاً ويقف العلم مكتوف اليدين ويبدأ العلماء يتخبطون خبط عشواء . وقد كان أينشتين من جملة أدلوا بدلوهم ، فقدم لنا نموذجاً للكون ، ولكن تبين خلال عقد من الزمن أن النموذج الذي قدّمه غير صحيح . فقد قال بأن الكون ثابت ، ولكن الارصاد الفلكية دلت على أنه متمدد . على أية حال فإن المعادلات التي وضعها بهذا الخصوص والفضاء المتحدب الذي وصفه — كل هذا لايزال الأساس المتين الذي تقوم عليه النماذج الحديثة للكون .

وإذا نظرنا إلى جميع النماذج التي قدمها العلماء ، فإننا نستطيع أن نقسمها إلى قسمين : قسم يصف الكون بأنه ثابت ، وآخر يصفه بأنه متمدد .

ولكننا قبل أن نبحث ذلك ، علينا أن نعرف الصورة التي يرسمها علم الفلك للمجال الواقع تحت بصره في التلسكوب ، فلعل هذا يساعدنا على معرفة البقية البنية من الكون ، ويجعل تقديرنا أقرب إلى الصحة

اسراب من مجرات :

إن شمسنا هي أحد نجوم مجرّة « درب التبانة » التي تكلمنا عنها عندما بحثنا موضوع المكان في النسبية في أوائل هذا الكتاب . وقد قلنا آنذاك أن مجرّة درب التبانة تتألف من عدد هائل من النجوم تبلغ حوالى مئة الف مليون نجم . وشكل هذه المجرة يشبه شكل العدسة المنتفخة في الوسط

ولها أذرع لولبية ممتدة من اطرافها . ولا نعرف للمجرة حداً فاصلاً واضحاً ولكن يعتقد أن قطر وسطها المتفخ الذي تتجمع فيه النجوم يبلغ ثلاثين ألف سنة ضوئية ، وأن سمكها عشر ذلك المقدار من السنين الضوئية . وتقع شمسنا في أحد الاذرع اللولبية وتبعد حوالى ٢٥٠٠٠ سنة ضوئية عن مركز المجرة .

وباستطاعتنا أن نرى درب التبانة بأعيننا إذا ما نظرنا إلى السماء في ليلة صافية . انها ذلك الخط العريض من الضباب اللامع الذي يقطع السماء من الأفق الى الأفق . وهذا الذي نراه ضباباً ما هو إلا نجوم مجرتنا لا نكاد نميّزها بالعين المجرّدة لبعدها السحيق . ونحن عندما ننظر اليها نراهـا ذات شكل مستطيل ، لأننا ننظر اليها مجانبة أي ننظر إلى العدسة من طرفها .

وفي مجرتنا ، بالإضافة إلى النجوم ، كمية كبيرة جداً من الغاز معظمه هيدروجين وغبار . وربما كانت كتلة الغاز والغبار المنتشرين في المجرّة تعادل كتل النجوم كلها . وهذه المجموعة من النجوم والغاز والغبار تدور حول نفسها – كما قلنا فيما سبق – حول المركز .

وليست مجرتنا هي المجموعة الفريدة من النجوم في هذا الكون . فإن هناك ملايين عديدة جداً من المجرات يقدر عددها بعدد النجوم الموجودة في مجرتنا . فحيثما سلطنا التلسكوب نجد مجرات في كل اتجاه ، وتختلف أشكالها عن بعضها بعضاً في حدود معينة . فمعظمها كالعدسة المفلطحة ولها أذرع لولبية كمجرتنا ، ومنها المستدير ومنها البيضوي وهناك مجرات غير منتظمة الشكل .

وتتجمع كل بضع مجرات قرب بعضها بعضاً وتكوّن « مجموعة مجرّية » . وقد تحتوي المجموعة على عدد كبير من المجرات قد يبلغ الألف في بعض الأحيان ، وكل مجرة تتألف من عدد ضخم جداً من النجوم مثل مجرتنا « درب التبانة » تماماً . ومجرتنا نفسها هي احدى مجرات مجموعة تسمى

« المجموعة المحلية » . وهذه تتألف من حوالى سبع عشرة مجرّة . وأقرب جار نعرفه في المجموعة المحلية هو مجرة اندروميدا التي تبعد عنا مليون ونصف مليون سنة ضوئية تقريباً . ونستطيع أن نراها بالعين المجردة ، كبقعة غبشاء باهتة (طولها ضعفا قطر القمر كما يبدو لنا بالنظر اليه) في أواسط السماء في ليالي الخريف ما بين الثّريا والنجم القطبي .

ويبدو أن « مجموعة المجرات » هي أكبر وحدة تتجمع فيها المادة في هذا الكون . ولا يبدو أن هناك تجمعات أكبر من ذلك . وتقول الارصاد الفلكية أن مجموعات المجرات هذه موزعة توزيعاً عادلاً في أرجاء الفضاء ، وأن ما هو موجود منها في جزء من اجزاء السماء كما هو موجود في أي جزء آخر تقريباً . ولا يعني هذا الكلام انها مرتبة في صفوف منتظمة ، وإنما يمكن أن نشبه توزيعها بقطرات المطر المتساقطة على لوح من زجاج . إننا إذا عددنا القطرات على لوحين متماثلين نجد أن العددين متقاربان ، وليس من الضروري أن نجد الرقم نفسه تماماً على كلا اللوحين .

وبما أن مجموعات المجرات هي أكبر الوحدات الطبيعية ، وبما أننا نستطيع أن نرى عدداً كبيراً من هذه الوحدات في كل ناحية وجهنا اليها التلسكوب ، فمن المعقول جداً أن نفترض بأن القسم الذي تكشفه لنا التلسكوبات من هذا الكون هو نموذج للكون كله ، وأن بقية اجزاء الكون التي لا تراها التلسكوبات لا تختلف عما نراه في شيء . وليس من المعقول أن نفترض أن الجزء المكتشف حالياً (مرصد جبل بالومار يكشف مجرات على بعد بليونين من السنوات الضوئية) هو الجزء الفريد الوحيد من الكون الذي تنتشر فيه مجموعات المجرات على الشكل الذي نراها عليه فيه ، وأن نظن أن الإنسان في المستقبل إذا ما اخترع تلسكوبات أبعد مدى فسيجد صورة أخرى وشكلاً آخر للكون غير ما هو ماثل أمام أعيننا .

إننا لا نستطيع أن نقول أن أمراً كهذا هو مستحيل ، وانما نقول بأنه

مستبعد . ولو حدث أمر كهذا لكان معنى ذلك أننا الآن في منتصف الكون المـأهول وأن مجرتنا هي المركز . وليس هناك أي دليل علمي يدعونا إلى التفكير في ذلك .

إن فكرة « توزيع المادة في الكون توزيعاً متناسقاً عادلاً » هي فكرة قديمة قال بها العلماء قبل أن يتقدم علم الفلك ويؤيدها بتيلسكوباته البعيـدة المدى . وتعتبر هذه الفكرة الآن فرضية أساسية وتسمى « بالقانون الكوني » **Cosmological Principle** . والقانون الكوني في الواقع ما هو إلا امتداد لفكرة كوبرنيكس . وما دمنا قد تنازلنا عن غرورنا وأنانيتنا اللذين كنا نعتقد بهما أن الأرض هي مركز كل شيء ، فسنجد أننا لا نستطيع أن نسبغ صفة المركزية على الشمس ، فلا تعود الشمس في أعيننا إلا نجماً من نجوم عديدة في المجرة . والشيء نفسه يقال عن المجرة والمجموعة المحلية . فسوف نجد أنهـا عادية جداً بالنسبة لمثيلاتها ، ولا شيء يميزها أو يخصصها فيجعلها في مركز الكون .

نستنتج من ذلك كله أن الكون متناسق في توزيع مادته ، خاضـع للقانون الكوني في جميع ارجائه .

وبناءً على هذا المفهوم نستطيع أن نبحث رأي أينشتين في الكون .

الكون عند أينشتين

الواقع أن العلماء قد وضعوا نماذج عديدة جداً للكون ، وصفوها ووضعوا لها المعادلات والقوانين التي تختلف عن بعضها بعضاً كل حسب وجهـة نظره ، معتمداً على ما هو مكتشف في عصره من المعلومات الفلكية . ونحن لا يهمنا من هـذه النماذج بالطبع إلا النموذج الذي وصفه أينشتين لأنه يعتمد في الأساس على الفضاء الذي أصبحنا نفهمه فهماً مختلفاً بعد دراستنا للنظرية النسبية . وبحثنا في موضوع الكون أصلاً ، سببه أنـه بحث في الفضاء الذي كان شغلنا الشاغل أثناء بحثنا في النظرية النسبية .

على أية حال ، فقد جرت عادتنا أن نقارن بين المفاهيم النسبية والمفاهيم الفيزيائية الكلاسيكية . ولن نقطع هذه العادة الآن ، ولنذكر ما يقول نيوتن في الكون .

الكون عند نيوتن :

استنتج نيوتن من خلال مفهومه الكلاسيكي عن الفضاء أن الكون مكوّن من مجرات عديدة تسبح في الأثير الذي يملؤه . أما ما وراء ذلك

فهو خلو من أيّ شيء . وبناء على هذا الوصف نستطيع أن نعتبر أن الكون جزيرة متناهية محدودة تقع في محيط من الفضاء لا نهاية له . أي أن الكون عند نيوتن متناه ، محدود .

وقد كانت نظرية نيوتن في الكون موضع اعتراض كثير من العلماء . فهي تعني أن الضوء والحرارة اللذين يشعان من المجرات سوف يذهبان إلى الفضاء الفارغ بغير عودة . وبناء على ذلك فإن العالم يفقد طاقته باستمرار وهو سائر تبعاً لذلك في طريقه إلى الفناء .

هذا بالإضافة إلى أن نيوتن يتركنا في حيرة بشأن الفضاء الواسع الفارغ الواقع ما وراء المجرات ، فلا يتحدث لنا عن طبيعة هذا الفضاء ولا عما هو موجود خلفه .

الكون عند اينشتين :

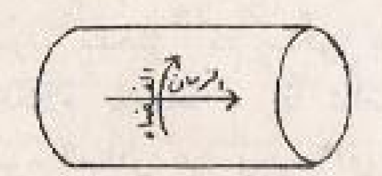
وجد أينشتين أن كونَ نيوتن بعيد الاحتمال إن لم يكن مستحيلاً . فاذا كان الفضاء لا نهائياً كان معنى ذلك أن معدل كثافة المادة في الكون تساوي صفراً . وقد بدت هذه النتيجة غريبة بل مستحيلة لأينشتين ، ولهذا نجده يقدم نموذجاً خاصاً مبنياً على مفاهيم النسبية .

فقد فهمنا فيما مرّ من حديث عن الفضاء أنه يتحدب بابعاده الأربعة حول الكتل الكبيرة ، وقد شبهنا هذه التحدبات بالتلال والجبال داخل الفضاء. وعلى ذلك فإن المجرة التي تتكون من بلايين النجوم يمكن أن ننظر اليها على أنها مجموعة من التلال والجبال الفضائية التي تختلف عن بعضها بعضاً ارتفاعاً وانخفاضاً . وهي في تفاصيلها معقدة ، لكنها بمجموعها تكوّن نوعاً من المرتفع فيه قمم عديدة ووديان عديدة أيضاً . والشيء نفسه يقال عندما نلقي هذه النظرة على المجموعات المجرية .

وقد قلنا فيما سبق أن المادة موزعة توزيعاً عادلاً في هذا الكون . فاذا

نظرنا اليه في هذه الحالة نظرة إجمالية ، فإننا سنجد أن الكون في مجموعه محدب . ولكن أينشتين يرى أن هذا التوزيع العادل سوف يعطينا تحدباً في الفضاء يشمل الابعاد المكانية الثلاثة ، ويستثني البعد الزمني من هذا التحدب .

وتصبح صورة الكون التي يرسمها لنا أينشتين تعبر عن كرة من الفضاء تسبح فيها المجرات ، تسير في اتجاه مستقيم من البعد الزمني . واذا ما حاولنا أن نرسم لها رسماً بيانياً فسوف تظهر لنا كما هي في الشكل (٣٩)



كون أينشتين

(شكل ٣٩)

وإذا ما انطلقنا نسير داخل هذه الكرة في اتجاه معيّن لا نحيد عنه ، فسنجد آخر الأمر أننا قد وصلنا إلى النقطة التي ابتدأنا منها . ومثلنا في ذلك مثل الذي يسير على سطح الكرة الأرضية في خط يتصور أنه مستقيم، فإنه سيجد أنه أصبح يسير في الاتجاه المعاكس تماماً بعد أن يقطع نصف محيط الكرة ، وهو لا يزال يحسب أنه يسير في خط مستقيم . حتى إذا دار دورة كاملة وجد أنه قد وصل إلى النقطة التي انطلق منها .

وهذا القول نفسه لا ينطبق علينا نحن إذا انطلقنا في الفضاء وحسب ، بل ينطبق أيضاً على الضوء . فإن تحدب الفضاء حول الكتل الموجودة فيه كفيل بأن يجعله ينحني في سيره حتى يصل آخر الأمر إلى النقطة التي صدر منها ، والضوء المسكين يحسب أنه يسير في خط مستقيم !

وعلى ذلك فالكون الذي نعيش فيه مغلق على نفسه ، لا نستطيع أن نجد له حداً ، لأننا لن نجد شيئاً يوقفنا إذا ما أخذنا نسير فيه . ولكنه متناه لأننا إذا انطلقنا إلى أية جهة كانت فإننا نصل إلى النقطة التي انطلقنا منها أول الأمر .

وقد قدر أينشتين أن يكون لنصف قطر الكون علاقة بالجذر التربيعي لمربع الكثافة فيه . وكان تقديره لنصف القطر بناء على ذلك ٢×١٠^{٢٣} ميلاً .

وإذا كان تحدب الكون بالشكل الذي يصفه به أينشتين صحيحاً ، كان معنى ذلك أننا إذا اخترعنا في المستقبل تلسكوباً عملاقاً ضخماً يرى أقاصي الكون ، وأخذنا ننظر في عدسته ، فسوف نرى في أعمق أعماق الكون ... أنفسنا ، وسوف نندهش كم سنكون بعيدين عن أنفسنا !!!

وسوف يكون هذا الكلام صحيحاً ، إذا تغاضينا ، بالطبع ، عن الزمن الذي يستغرقه الضوء الصادر عن وجوهنا في دورانه حول الكون . وأظن أن القارئ لن يلومنا إذا تغاضينا عن بضعة بلايين من السنين في سبيل ان نريه نفسه في التلسكوب وقوة الضوء الصادر عن محياه بعد دورة بسيطة كهذه !

المهم في الأمر أن أينشتين وضع معادلاته وقوانينه المعقدة لكي يصف الكون كما استنتج أن يكون شكله وطبيعته بناء على مفاهيمه النسبية عن الكتل وتوزيعها في الفضاء المحدب . والصورة التي يعطينا إياها بعد الشرح الطويل والمعادلات المتشابكة هي أن الكون متناه ، لا حدود له ، مغلق على نفسه ، ثابت الحجم ، محدب بابعاده المسافية الثلاثة ، أما البعد الزمني فهو يسير على محور مستقيم الاتجاه ولا يشارك الابعاد الأخرى تحدبها .

ومع أن العلماء يشهدون بمتانة المعادلات التي وضعها ، والأسس الثابتة التي تقوم عليها ، ومع أن هذه المعادلات لا تزال مستعملة حتى الآن في النماذج الحديثة التي ظهرت للكون ، لكن يظهر أن أطراف الكون وشكله هي أبعد من أن يصل اليها حتى أينشتين .

الابرام : التحدب

لم يكد يطلع أينشتين على العالم بنظريته عن الكون حتى انبرت المراصد الفلكية – صاحبة النقض والابرام في هذه القضايا – تحاول أن تنفي أو تؤيد صحتها .

وقد حاول الاستاذ هابل **Hubble** مدير مرصد جبل ولسون في كاليفورنيا أن يرى فيما إذا كان الفضاء متحدباً حقاً ، وفيما إذا كان التحدب ايجابياً أم سلبياً .

ولجأ في ذلك إلى صفة نعرفها الآن تمام المعرفة يتميز بها كل من هذين التحدبين عن الآخر (شكل ٣١) . فقد عرفنا في السطوح أن عدد العلامات الموزعة توزيعاً عادلاً يزيد في السطح المتحدب تحدباً سلبياً أكثر من زيادة مربع ذلك السطح ، وفي التحدب الايجابي أقل من زيادة المربع فيه . والشيء نفسه يقال عن الحجوم . فإن عدد العلامات الموزعة في حجم ما توزيعاً عادلاً يزيد أقل من الزيادة في مكعب ذلك الحجم إذا كان التحدب ايجابياً وأكثر منه إذا كان سلبياً .

وقد اعتبر الدكتور هابل أن المجرات هي العلامات الموزعة توزيعاً عادلاً في الفضاء . وقام بحساب توزيعها فوجد أنها تزداد أقل من زيادة مكعب المسافة ، مما يدل على أن الفضاء متحدب تحدباً ايجابياً وأنه متناه مغلق على نفسه .

ولكن هذه النتيجة التي أوصلنا اليها لا نستطيع أن نعتبرها نتيجة نهائية ، لا لأن هناك خطأ في حسابات هابل ، وإنما لاحتمال آخر . وذلك أن تقدير أبعاد المجرات البعيدة بعداً ساحقاً يقوم فقط على مقدار اللمعان الظاهري الذي يراه الراصد في التلسكوب . ومن المفروض أن اللمعان في المجرات متساو ضمن حدود معينة . ولكن هذا الفرض قد يقودنا إلى خطأ كبير إذا كان اللمعان يتغير بمرور الزمن . ولا يغرب عن بالنا أن

من المجرات التي يراها تلسكوب جبل ولسون ما يقع على ابعاد سحيقة جداً ، فمنها ما يبعد مئة مليون سنة ضوئية ومنها مئتي مليون وابعدها خمسمائة مليون سنة ضوئية . ومعنى ذلك أننا نرى النور الصادر عنها منذ هذا العدد من السنين ، واننا الآن نرى لمعانها كما كان في تلك العهود . أما ما تم في أمرها الآن ، وهل قلّ لمعانها أم ظل على ما هو عليه ، فهذا ما لا علم لنا به ، ولا نحلم أن ندركه بالطرق المباشرة . إن تغيير اللمعان ولو شيئاً بسيطاً جداً سوف يجعلنا نقدر مسافات أخرى غير التي قدرناها ، وسوف نحصل على نتائج أخرى قد نجد فيها أن الكون محدّب تحدباً سلبياً ؟!

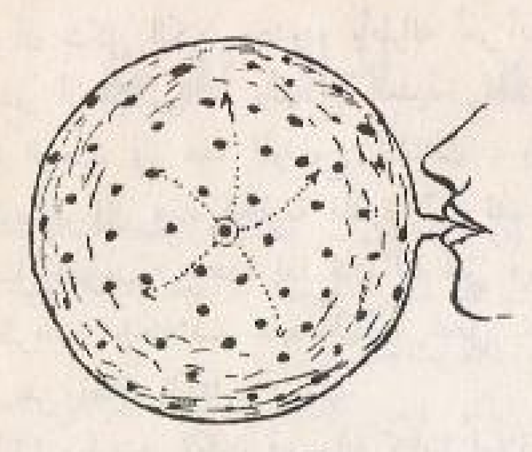
أما إذا كان اللمعان لا يتغير في هذه الفترات الطويلة العهد ، فإن تحدب الفضاء تحدباً ايجابياً يكون قد ثبت .

لكن الاستاذ هابل الذي أبرم قضية التحدب ، طلع على العالم سنة ١٩٢٩ باكتشاف خطير نقض به كل النماذج الثابتة التي وصفها كل العلماء السابقين بما فيهم نيوتن وأينشتين .

فبينما كان يسجل أطياف الضوء القادم من المجرات البعيدة ، وجد ان الطيف يميل إلى جهة الأحمر ، ويزداد ميلان الطيف كلما ازداد بعد المجرة . ولم يكن أمامه وأمام غيره من العلماء الا تفسير واحد غريب صعب التصديق . وذلك أن المجرات كلها تنفر من بعضها بعضاً وتهرب من بعضها بعضاً بسرعات خارقة مستهجنة حتى على العلماء الفلكيين أصحاب الأرقام العجيبة الغريبة . فقد بلغ تباعد اقصى المجرات التي رآها تلسكوب جبل ولسن ٢٥٠٠٠ ميل ـ ثانية (أي ٠,١٤ سرعة الضوء) ، ورأى تلسكوب جبل بالومار مجرات تتباعد بسرعة ٤٠٠٠٠ ميل ـ ثانية (أي أكثر من ٠,٢٠ سرعة الضوء) !!!

وبناء على ذلك ، فالمجرات في هذا الكون أيها القارئ ، تشبه النقط المرسومة على سطح بالون من مطاط ، ينفخ فيه باستمرار . فتجد النقطة

ان اختها القريبة تبعد عنها بسرعة معينة ، ولكن النقط الأخرى تزداد سرعة ابتعادها كلما ازداد بعدها . وهكذا تتوهم كل نقطة أنها أصيبت بداء تنفر منه الأخريات . شكل (٤٠) .



شكل (٤٠)

وهكذا أيها القارئ ، فإن المجرات تتباعد عن بعضها ، والفضاء يتمدد وينتفخ . ويحق لنا أن نحمد الله على أن الفضاء غير مصنوع من المطاط ، إذن لانفجر منذ أمد بعيد .

الفضاء الصديق

نرى مما سبق أن شكل الكون وحدوده وأطرافه أمر أبعد من أن يحيط به العلم الحديث . غير أن النظريات والنماذج العديدة المتشعبة التي يقدمها العلماء هي بداية البحث في هذا الموضوع الشائك ، وهي جهد مشكور ومحاولة محمودة للوصول إلى هذه الحقيقة المثيرة التي قد لا يصل العلم إلى ادراكها في المستقبل القريب ، هذا إذا كان لنا أمل في ادراكها يوماً ما . وتشعب هذه النظريات واختلاف هذه النماذج يجعل بحث هذا الموضوع بالتفصيل خارجاً عن نطاق الكتاب .

والواقع اننا طرقنا موضوع الكون في نهاية كتابنا لعلاقة البحث بالفضاء . فالفضاء الذي رافقناه منذ أول فصل ، وسرنا معه صفحة صفحة ، وأصبح صديقاً عزيزاً علينا أثيراً لدينا ، والذي عرفناه على حقيقته عندما درسناه عن كثب ، فوجدنا كيف ينكمش ويتحدب ويختلط بالزمان — هذا الفضاء العجيب يجب علينا أن لا نتركه بعد هذه الألفة الطويلة بيننا دون أن نسأل عنه ونعلم مصيره إذا استطعنا إلى ذلك سبيلاً .

ولكننا نجد أنه لا يزال عجيباً في اتساعه ، غامضاً في شكله ، مجهولاً في نهايته . إنه لا يكترث لنا ليخبرنا من أمره شيئاً .

فأينشتين عندما وصفه بالثبات ، لم تدم نظريته فيه طويلاً ، وعندما وصفه بالتحدب الايجابي ، وأثبت هابل ذلك ، ظهرت علامات استفهام كثيرة حول هذا الاثبات .

وعلى ذلك ، فالاسئلة حول حجمه وتحدبه الكلي ونهايته وحدوده لا تزال قائمة ، ومن المرجح أن تظل قائمة إلى مستقبل بعيد جداً .

ومن يدري ؟ فقد تظل قائمة إلى الأبد !

الأبد المحدب طبعاً !

نظرية المجال الموحد

قد يظن القارئ أن أينشتين — بعد أن وضع النظرية النسبية بمفهومها الجديد عن الكون — قد أنهى مهمته ، وقدم لنا كل ما لديه وفرغت جعبته من زيادة في الحديث .

لكن الامر في الواقع ليس كذلك . فهذا الرجل العظيم ، صاحب النظرية العظيمة ، كان دائماً طموحاً تواقاً إلى الوصول إلى نظرية أعظم ونتيجة أعم وأشمل .

كان يفهم كنه ما قدمه ولكنه كان يطلب المزيد .

لقد بيّن لنا أن الزمان والمكان غير منفصلين ، وإنما هما مظهران من مظاهر وحدة واحدة ، هي المتصل الزماني المكاني . وكذلك بيّن لنا أن الطاقة والكتلة وحدة واحدة ، يمكن أن نعتبر احداهما مظهراً للأخرى .

وعلى ذلك ، فإن الوحدات الاساسية الأربع التي تكوّن جواهر دراسة الكون وقوانينه الا وهي الزمان والمكان والكتلة والطاقة ، قد اختصرها أينشتين إلى وحدتين فقط .

وهذا التبسيط لقوانين الكون كان يدفع أينشتين إلى فكرة أخرى ، قائمة على هذا الأساس ، وإنما في نطاق آخر . فكرة صرف فيها السنوات العشرين الأخيرة من حياته .

كان يبحث عن قانون عام ، يكون الأساس لجميع القوانين التي تفسر القوى الطبيعية التي نعرفها ويكون مصدراً لها .

والناظر إلى ما نعرفه من هذه القوى يجد أن لها قوانين متشابهة تشابهاً يلفت النظر ويسترعي الانتباه .

فقد وضع نيوتن قانون الجاذبية على الشكل التالي :

$$\frac{\text{ك}_1 \, \text{ك}_2}{\text{م}^2} \times \text{ثابت}$$

حيث ك٢ ـ كتلة الجسم الاول ، ك٢ ـ كتلة الجسم الثاني ، م ـ المسافة بينهما .

ونجد أيضاً أن قوة التجاذب ما بين شحنتين كربائيتين مختلفتين حسب قانون كولومب هي كما يلي :

$$\frac{\text{ش}_1 \times \text{ش}_2}{\text{م}^2} \times \text{ثابت}$$

حيث ش١ ـ كمية الشحنة الأولى ، ش٢ ـ كمية الشحنة الثانية ، م ـ المسافة بينهما .

وبالمثل فإن قوة التجاذب بين قطبين مغناطيسيين مختلفين هي :

$$\frac{\text{غ}_1 \times \text{غ}_2}{\text{م}^2} \times \text{ثابت}$$

حيث غ١ ـ قوة جذب القطب الشمالي ، غ٢ ـ قوة جذب القطب الجنوبي ، م ـ المسافة بينهما .

ويجب أن نلفت الانتباه إلى أمرين . أولهما : بأن الثابت في كل من هذه المعادلات يختلف عن مثيله في المعادلتين الأخريين . وثانيهما : إننا نعرف أن قوة الجاذبية في المعادلة الأولى دائماً تجذب الكتل إلى بعضها بعضاً بينما هي في الكهرباء والمغناطيس قد تكون جاذبة إذا كانت الشحنتان (أو القطبان) مختلفتين ، وقد تكون العكس إذا كانت

الشحنتان (أو القطبان) متشابهتين ، وعندئذٍ نسميها قوة تنافر لا قوة تجاذب .

وإذا ما قارنا هذه المعادلات نجد أنها موضوعة في الصيغة نفسها ، مع أن كل معادلة تتحدث عن ظاهرة مستقلة لا علاقة لها بالظاهرتين الأخريين . وبالاضافة إلى ذلك ، فان هذه المعادلات ، في نشوئها التاريخي ، قد وضعها بالتجربة العملية علماء مختلفون ، كل واحد منهم مستقلاً عن الآخر . وهذا التشابه الغريب يسترعي الانتباه ويوحي بأن هذه الانواع الثلاثة من القوانين يجب أن تكون فرعاً من قانون أساسي أعمّ وأشمل .

فما هو هذا القانون الأعم والأشمل الذي هو أساس لهذه المعادلات ؟

وقد استطاع أينشتين أن يفسّر أول هذه القوانين (قانون الجاذبية) على أساس المجال . وكان تفسيره أقرب إلى الصحة من القانون الأصلي الذي وضعه نيوتن . إذن ، فالمجالات تلعب دورها في هذه الظواهر . ألا يمكن ، بناء على ذلك ، أن نجد نظرية مجال موحد يفسّر كل هذه الظواهر ؟

ومن هنا جاء اسم هذه النظرية التي اشتغل فيها أينشتين عقدين من الزمن ، فسميت بنظرية المجال الموحد .

على أية حال ، فيجب أن نعرف أن أينشتين لم يكن يبغي من تلك النظرية أن يوحد هذه القوى الثلاث تحت قانون واحد وحسب . إنه كان يبغي أكثر من ذلك . كان يسعى إلى ايجاد قانون أو بضعة قوانين أساسية تضم تحتها جميع الظواهر الفيزيائية .

ونحن نعرف من تاريخ العلوم أن قوانين الفيزياء عامة في فروعها المختلفة قد تطورت بطرق مختلفة ووضعها علماء مختلفون . ونتيجة لأبحاث هؤلاء العلماء نشأت لدينا قوانين الحرارة والميكانيكا والبصريات والجاذبية

والكهرباء .... إلى آخره . ونحن نلاحظ أيضاً أن العلم كلما اتسعت آفاقه وعمقت أغواره وجدنا أن هناك ترابطاً بين مختلف هذه الفروع . وكلما تقدم بنا العلم وجدنا أن هذا الترابط والتشابك يزدادان باستمرار .

إن فهمنا للعلم على أساس ترابط فروعه يساعد على تقدمنا فيه ، وتقدمنا فيه يجعلنا نرى زيادة في الترابط . وهكذا ، فإننا نجد أنفسنا في حلقة مفرغة خيّرة ، ستنتهي بنا آخر الأمر إلى قانون أو بضعة قوانين أساسية ، هي التي كان يسعى اليها أينشتين ، تحت اسم نظرية المجال الموحد .

لكن متى سيتم ذلك ؟ هل في بضع عشرات من السنين أم بضع مئات ؟ لا أدري .

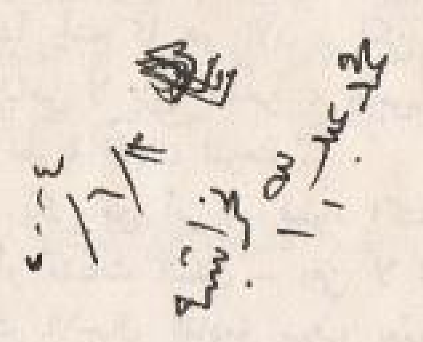
على أننا إذا ما استطعنا أن نجد نظرية كهذه ، فسنجد أن قوانين الكون في مختلف الفروع ، ستنساب وحدها بيسر دون عناء . وليس ذلك فقط : بل إننا سنصبح قادرين على تفسير قوى طبيعية لا يعرف العلم عنها الآن إلاّ شيئاً ضئيلاً . كالقوة التي تربط ما بين وحدات نواة الذرة مثلاً (البروتونات والنيوترونات) . فنحن نعرف أن البروتونات الموجودة في نواة الذرة تحمل شحنات كهربائية موجبة ، ومع ذلك فإننا نرى أن الذرة لا تتحطم بسهولة على الرغم من التنافر الموجود بين الشحنات الكهربائية المتشابهة . بل على العكس ، فإن هناك قوة هائلة جداً تربط ما بين وحداتها ، والحصول على جزء من هذه القوة يعطينا الطاقة الذرية في العصر الحديث . أما ما هو سرّ هذه القوة ؟ وكيف نستطيع أن نفسرها ؟ فهذا ما لا نعلم الآن عنه شيئاً .

وزيادة على ذلك كله ، فإذا وجدت نظرية المجال الموحد ، وتم اكتشاف أسسها ، فمن المنتظر اكتشاف مجالات أخرى وقوى أخرى لا نعرف عنها الآن شيئاً ، ولم تكن لنا في حسبان . قد يكون هناك مصدر

قريب جداً لتوليد طاقات هائلة من مجال معيّن . إننا نريد نظرية متينة تشير بأصبعها اليه قائلة : اليكم هذا المصدر وأنتم عنه غافلون .

إن نظرية المجال الموحد — التي قضى أينشتين القسم الأخير من حياته وهو يسعى إلى تحقيقها — تنطوي على أمور كثيرة جداً تستطيع أن تخدم الجنس البشري ، إذا ما أحسن استعمالها ، وقد تكون السبب في فنائه إذا ظل راكباً رأسه كما هو الآن . لكن يبدو أن عصرنا بما فيه من التقدم العلمي الباهر لا يزال متأخراً ، وليس فيه من المنجزات العلمية ما يكفي لتحقيق نظرية المجال الموحد .

مهما يكن من أمر ، فسواء اكتشفت هذه النظرية بعد عشرات السنين أو مئات السنين — وهي لا محالة مكتشفة يوماً ما — فان العلماء وحضارات الاجيال القادمة سوف يعترفون دائماً بفضل ألبرت أينشتين ونظريته النسبية .



مراجع الكتاب

1 — One, Two, Three ... infinity, George Gamow.
2 — Matter, Earth and Sky, George Gamow.
3 — Scientific American, March 1961,
Gravity — George Gamow.
4 — Relativity for the Layman — James Coleman.
5 — The Nature of the physical world,
Sir Arthur Eddington.
6 — ABC of Relativity — Bertrand Russel.
7 — And there was light — Rudolf Thiel.
8 — العالم وأينشتين (اقرأ) محمد عاطف البرقوقي — لنكولن بارنت
9 — أينشتين — الدكتور محمد عبد الرحمن مرحبا
10 — النظرية النسبية — الدكتور محمد عبد الرحمن مرحبا

فهرست

النظرية النسبية العامة : الفضاء

الجاذبية

الكون